



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SITIO ESPECÍFICO A LA FERTILIZACIÓN
NITROGENADA Y AL DIAGNÓSTICO POR EL MÉTODO DEL BALANCE DE
NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

TRABAJO FINAL

Para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

Carlos Nazareno Faricelli

DNI: 28.579.907

DIRECTOR: Ing Agr MSc Marcos Bongiovanni

Río Cuarto, Córdoba, Argentina, Septiembre del 2005

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia, en especial a mi padre, por la compañía y el apoyo incondicional durante toda mi carrera.

A mi director de trabajo final, Ing Agr Marcos Bongiovanni, por aceptar, guiar, instruirme y colaborar desde el inicio de la propuesta.

A los ingenieros agrónomos Alejandro O'Donnell, Axel y Matías von Martín de Frontera Agropecuaria y, Rodolfo Bongiovanni y Andrés Méndez del INTA EEA Manfredi, por planificar, organizar, y ejecutar el trabajo con entera disposición.

A todos mis compañeros y amigos, que hicieron de esta etapa algo inolvidable.

INDICE

Resumen	I
Summary	II
INTRODUCCION	1
MANEJO SITIO ESPECÍFICO Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
HIPÓTESIS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
UBICACIÓN DEL LOTE Y CONTEXTO AMBIENTAL	6
MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO	6
SIEMBRA DEL CULTIVO	7
MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO	8
COSECHA DEL CULTIVO, OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE RESULTADOS	8
PARTICULARIDADES DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA	8
ENSAYO DE RESPUESTA SITIO ESPECIFICA A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO	9
DISEÑO DEL ENSAYO	9
ANÁLISIS DE DATOS DE RENDIMIENTO POR METODOLOGÍA DE TESTIGOS APAREADOS	11
MÉTODO DEL BALANCE DE NITRÓGENO	12
ANTECEDENTES DEL MANEJO SITIO ESPECIFICO EN EL LOTE	14
IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD	14
CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES	15
AJUSTES DE DOSIS OPTIMAS	16
RESULTADOS Y DISCUSION	17
ACTUALIZACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES	17
VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LA VARIABILIDAD	19
DINÁMICA HÍDRICA DEL PERFIL	21
ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS	23
ANÁLISIS ESTADISTICO	25
ANÁLISIS INDIVIDUALES POR AMBIENTE O SITIO	27
BAJO ESTE	27
MEDIA LOMA	28
LOMA	28
BAJO OESTE	29
<i>DISCUSIÓN GENERAL</i>	30
RESPUESTA SITIO ESPECÍFICA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA	31
COMPARACIÓN CON DIAGNÓSTICO DE FERTILIZACIÓN POR MÉTODO DEL BALANCE	33
DEMANDA DE NITRÓGENO SEGÚN RENDIMIENTOS DE MAÍZ CAMPAÑA 2001/02	34
DEMANDA DE NITRÓGENO SEGÚN REGRESIÓN LINEAL DE RINDES CAMPAÑA 2003/04	34
UTILIZACIÓN DE EFICIENCIAS EN EL USO DEL NITRÓGENO	35
<i>DISCUSIÓN GENERAL</i>	36
EFICIENCIA DE FERTILIZACIÓN	37
CONCLUSIONES	39
APENDICE	40
Anexo 1	41
Anexo 2	42
Anexo 3	43
BIBLIOGRAFIA	44



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

Certificado de Aprobación

Título del Trabajo Final: EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SITIO ESPECÍFICO
A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y AL DIAGNÓSTICO POR EL MÉTODO DEL
BALANCE DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

Autor: Carlos Nazareno Faricelli

Director: ING AGR MSc MARCOS BONGIOVANNI

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión
Evaluadora:

Fecha de presentación: _____ de _____ del año _____

Secretario Académico

RESUMEN

La región agrícola de Río Cuarto se caracteriza por presentar diversos patrones de variabilidad en sus lotes por lo que, no habría razón alguna en aplicar excesivas cantidades de insumos a sectores de bajo rendimiento y debería replantearse a manejar zonas de alta producción para obtener el máximo potencial. Estos sectores son denominados ambientes o sitios de un lote.

El presente trabajo de investigación, trata sobre el manejo sitio específico del cultivo de maíz con el insumo nitrógeno como centro de enfoque. En este aspecto, el cultivo posee elevados requerimientos de este nutriente que provocan un gran impacto sobre el rendimiento haciendo necesario un adecuado diagnóstico tanto de su disponibilidad en el suelo como del ajuste de dosis a aplicar.

El objetivo de la investigación fue el de establecer, interpretar y confirmar los patrones de variabilidad en un lote de la región, para asociarlos con la respuesta sitio específico a la fertilización nitrogenada concluyendo en viables ajustes de dosis por ambiente. Para ello se realizó un muestreo estratificado de suelos y un ensayo en franjas de diferentes dosis de nitrógeno que atraviesan los patrones de variabilidad o ambientes del lote y con un testigo apareado constante considerado como la dosis de nitrógeno normal tanto para los productores de la zona como para el momento de aplicación a la siembra.

La variabilidad quedó confirmada estadísticamente e indicaría que es factible un manejo sitio específico del nutriente para el lote en cuestión. Por otro lado, el ajuste de dosis por ambiente no fue dilucidado con claridad pero reveló otros aspectos a tener en cuenta al ajustar dosis como los de respuesta y eficiencia a la fertilización por ambiente. También se comparó con otras metodologías de diagnóstico para el ajuste de dosis como la del método del balance de nitrógeno, descubriendo que no siempre dan resultados lógicos y, que varían sensiblemente con la modificación de los parámetros involucrados en su cálculo y con cada año en particular.

SUMMARY

The agricultural region of Río Cuarto is characterized to display diverse patterns of variability in his fields by that, there would not be any reason in applying excessive amounts of inputs in sectors of low yield and should have to be reframed to managed zones of discharge production to obtain the highest potential. These zones are denominated environments or sites of a field.

The present work of investigation, deals on the managed specific site about the maize crop with the input of nitrogen like approach center. In this aspect, the crop has high requirements of this nutrient that cause a great impact on yield doing necessary a suitable diagnosis as much, of his availability in the ground as of the adjustment of dose to apply.

The objective of the investigation was to establish, to interpret and to confirm the patterns of variability in a field of the region, to associate them with the answer specific site to nitrogen fertilization concluding in viable adjustments of dose by sites. For it, a stratified ground sampling was made and, a test of strips with different doses of nitrogen that cross the patterns of variability or sites of the field and that has a constant matched up witness considered like the dose of normal nitrogen as much, for the producers of zone like for the moment of application to seedtime.

The variability was confirmed statistically and it would indicate that is feasible a managing specific site of nutrient for the field at issue. On the other hand, the adjustment of dose by sites was not explained with clarity but, it revealed other aspects to have in it tells when fitting dose like those of answer and efficiency to the fertilization by sites. Also it was compared with other methodologies of diagnosis for adjustment of dose like the one of the method of the nitrogen balance, discovering that not always they give logical results and, that they vary sensibly with modifying some parameter of its calculation like also every year in individual.

INTRODUCCIÓN

MANEJO SITIO ESPECÍFICO Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN

El Manejo Sitio Específico (MSE) puede definirse como la gestión del cultivo en una escala espacial y temporal apropiada para la variabilidad del paisaje, mediante el uso de la tecnología moderna de la información (Richard Plant 2004, com. pers.).

La Agricultura de Precisión (AdeP) brinda un conjunto de herramientas y procedimientos para unir variables mapeadas a las decisiones de manejo, con el objetivo principal de mejorar la rentabilidad de los sistemas productivos a través de la eficiencia en el uso de los insumos (Bragachini *et al.*, 2003 a). Esta tecnología, basada en el geoposicionamiento satelital, busca identificar la variabilidad dentro de una superficie para luego planificar la producción de cultivos de acuerdo a las condiciones puntuales identificadas (Roberts, 2003).

Por otro lado, la región agrícola del departamento Río Cuarto exhibe establecimientos agropecuarios con lotes que presentan marcada irregularidad topográfica por lo que, al advertirse esto, establecer e interpretar los patrones de variabilidad y manejarlos a través de las herramientas de la AdeP, traerá aparejado una gradual disminución de la contaminación y un aumento en la producción. El efecto mencionado anteriormente responde a que las recomendaciones promedio de fertilizantes y agroquímicos provocan sobre y sub aplicación sectorial, potenciando riesgos ambientales y mermas en los rendimientos (Bragachini *et al.*, 2002).

Además, la información generada por la AdeP sumada al desarrollo de la informática, los sensores, la maquinaria y la teledetección, estarían latentes como fuente potencial de diferenciación de productos primarios favoreciendo la trazabilidad. Al mismo tiempo, los productores que dispongan de información agronómica geoposicionada de la respuesta física y económica de cada cultivo e insumo aplicado en cada lote o ambiente de su campo, gozarán de una importante ventaja competitiva (Bragachini *et al.*, 2002).

Con el MSE actualmente no hay razón alguna para aplicar excesivas cantidades de insumos a sectores del lote de bajo rendimiento. A su vez, las áreas de alta producción pueden ser manejadas para obtener el máximo potencial (Bragachini *et al.*, 1996).

El factible manejo localizado de los nutrientes del cultivo, gracias a la tecnología MSE, tolera considerar que los elevados requerimientos de nitrógeno que tiene el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y el impacto que dicho nutriente tiene sobre el rendimiento, hacen necesario un adecuado diagnóstico de su disponibilidad en el suelo. La decisión de la cantidad y momento de aplicación del fertilizante debe apuntar a la mayor eficiencia (Kg grano por unidad de nutriente aplicado) y al mayor beneficio económico. Esta tarea es de fundamental importancia en momentos como los actuales que exigen la mayor inversión intelectual, en especial en tecnologías de bajo costo, tales como un simple análisis de

suelo, siendo éste, pilar fundamental para definir la caracterización de ambientes y permitir con ello el MSE (Camozzi y Melgar, 2000).

Los beneficios en el ambiente por aplicar sólo las cantidades necesarias de fertilizantes y agroquímicos son tan importantes como los beneficios que se obtienen en la producción agrícola. No obstante, la implementación del MSE tiene su precio. El progreso en su aplicación es lo que menguará los costos y, hasta que los productores logren comprender los niveles de variabilidad en sus lotes, será difícil determinar los beneficios a largo plazo. Los mayores beneficios derivarán de la habilidad en generar datos y aplicar la información obtenida, con una mayor comprensión del manejo del cultivo y el suelo (Bragachini *et al.*, 1996).

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Antes de contar con monitores de rendimiento y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, Global Position System), se tomaban los lotes como una unidad productiva, obteniendo datos promedio de productividad y de características físicas y químicas del suelo. Pero en los datos promedio del lote se engloba la variabilidad que existe, tanto en potenciales de suelo como de rendimiento. En realidad, existe gran variabilidad de propiedades de suelo y por ende de rendimiento, la que se pone de manifiesto a través de los mapas, que son la representación gráfica del rendimiento y su distribución espacial dentro del lote (Bongiovanni, 2003).

En la actualidad se sabe un poco más acerca del aprovechamiento agronómico de los datos de rendimiento grabados espacialmente (mapas de rendimiento) y asimilando que la variabilidad expresada en el rendimiento de un cultivo en forma espacial depende de una diversidad de factores y que su análisis e interpretación es una tarea compleja, resultando muy difícil extraer conclusiones directas para un manejo de insumos sitio específico (Bragachini *et al.*, 2003 b).

La idea fundamental en que se basa el MSE es que se debe aplicar los insumos en cantidades que se puedan aprovechar en su totalidad y que cada área del lote exprese el máximo potencial económicamente posible. Según esto, se ahorrarían insumos en las áreas de bajo rendimiento potencial sin disminuir el rendimiento (que era bajo), para trasladarlo a las áreas con mayor potencialidad que sí pueden aumentar la producción aprovechando los insumos correctamente (Bragachini *et al.*, 2003 b).

En otras situaciones de variabilidad, la dosis de fertilizante promedio puede ser insuficiente para un área degradada químicamente y resulta conveniente aplicar más en ese sitio de mayor respuesta (Bragachini *et al.*, 2003 b).

En resumen, sería cambiar la metodología de aplicación de insumos bajo la suposición de lotes con potenciales de rendimiento homogéneos en todo el área, por otra basada en el conocimiento de la variabilidad de respuesta dentro del lote, que permita maximizar la respuesta económica en cada sitio identificado (Bragachini *et al.*, 2003 b).

En un campo donde existe variabilidad natural, el relieve nos indica la variabilidad de manejo y el sistema de producción, situación en que el monitoreo de rendimiento será una herramienta de suma utilidad, seguido del muestreo de suelo por sitios homogéneos (Bragachini *et al.*, 2003 b).

El ajuste del mejor diagnóstico, implicará realizar ensayos exploratorios de respuestas a insumos variables, ajuste de análisis de respuesta económica y posteriormente con datos confiables diseñar una estrategia de aplicación variable de insumos (Bragachini *et al.*, 2003 b).

En todas las zonas en donde se cuenta con mapas de rendimiento surge el conocimiento de las variaciones pero, en cada lugar la explicación es diferente, razón por la cual se recalca la necesidad de realizar análisis puntuales para cada caso y para la estructura o filosofía de cada sistema productivo en particular (Bragachini *et al.*, 2003 b).

El manejo localizado de los nutrientes del cultivo se está haciendo posible gracias al uso de GPS y a nuevas tecnologías de insumos que permiten a los productores modificar la dosis de aplicación o el tipo de insumo a medida que la maquinaria avanza en el lote (Bragachini *et al.*, 1996). La AdeP es la que provee de la aplicación variable sectorial y por ello, primeramente debe tenerse en cuenta que el manejo sitio específico es un proceso que comprende tres etapas (Roberts, 2003):

- identificación de la variabilidad;
- caracterización de ambientes;
- ajuste de dosis óptimas de los insumos según los sitios.

La variabilidad que existe dentro de un lote se puede resumir en tres clases: (1) natural, tales como tipo de suelo y topografía; (2) aleatoria, como las precipitaciones; y (3) de manejo o inducida, como producto del manejo realizado para ese cultivo o los antecesores (Díaz-Zorita y Melgar, 1997).

La variabilidad natural es aquella que expresa las diferencias de ambiente dentro de los lotes, e incluye (a) variabilidad de suelos, (b) variabilidad biológica, y (c) variabilidad en los procesos dinámicos del suelo (Hatfield, 2000).

1.a) El suelo puede variar espacialmente en la capacidad de retención de agua, materia orgánica, y en otras características físicas y químicas por tipo de topografía, como así también por una serie de elementos interactuantes. Uno de los desafíos es cuantificar la variabilidad de los suelos (Bongiovanni, 2003).

1.b) La variabilidad biológica dentro de los lotes es tan grande como la variabilidad de suelos, incluyendo la variabilidad en la población de microbios del suelo, población de malezas, población de insectos, ocurrencia de enfermedades, crecimiento del cultivo y por último pero no menos importante: el rendimiento, que es la variable-diagnóstico que permite a los productores darse cuenta del resultado de toda la variabilidad biológica ocurrida durante el ciclo del cultivo (Bongiovanni, 2003).

1.c) La variabilidad en los procesos dinámicos del suelo se puede entender mirando, por ejemplo, a la dinámica del Nitrógeno (N): el N en el suelo representa el balance existente entre un número de

procesos, tales como la mineralización, inmovilización, desnitrificación, volatilización, nitrificación, adsorción, absorción por los cultivos, y percolación (Bongiovanni, 2003).

A los fines del MSE, la variabilidad debe poseer magnitud, superficie y repetitividad suficiente como para justificar una aplicación diferencial de insumos. Por magnitud se entiende que las diferencias de rendimiento de los sitios dentro de los lotes deben ser lo suficientemente importante como para determinar un ajuste de dosis por sitio. Cada sitio de rendimiento diferente debe también poseer una superficie lo suficientemente grande como para amortizar una aplicación de insumos sitio específico. La repetitividad de la variabilidad es la constancia a través del tiempo de la misma (O'donnell y von Martini, 2002).

Una vez identificados y delimitados los sitios de diferente potencial de rendimiento se debe buscar la causa principal o las causas que interaccionan para determinar la variabilidad de rendimiento. Existen varias metodologías para caracterizar ambientes, entre ellas se encuentran el muestreo de suelos estratificado al azar y el muestreo sistemático de suelos (Thomas y Halvorson, 1996).

A este nivel de análisis, resta determinar cuáles son las dosis óptimas de los insumos para los diferentes sitios o cuáles son los manejos adecuados (Roberts, 2003). La idea principal es utilizar la misma metodología empleada para determinar las dosis de insumos a nivel de lote, pero analizando cada sitio en particular (O'donnell y von Martini, 2002).

Entre las metodologías tradicionales para ajustar las dosis de insumos, especialmente fertilizantes, se cuenta con modelos o programas de computación de ajuste zonal. Estos mismos modelos se pueden utilizar a nivel de sitio. También existen ecuaciones desarrolladas a partir de ensayos zonales para determinar las dosis correctas (Thomas y Halvorson, 1996).

Una de las metodologías más aceptadas para cuantificar la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta es la del balance de nitrógeno que simula procesos de ganancias, pérdidas y transformaciones de este elemento en el sistema, pudiendo obtener la cantidad de fertilizante nitrogenado requerido por el cultivo de acuerdo a la ecuación formulada por Meisinger (1984) (Salvagiotti *et al.*, 1999).

El desafío es cuantificar la respuesta de rendimiento del cultivo a la dosis variable de insumos (método de la dosis óptima) usando indicadores de bajo costo, tales como el tipo de suelo y la topografía, como lo propone Anselin *et al.* (2003). En este sentido, el análisis de regresión espacial de los datos del monitor de rendimiento y diferentes dosis de fertilizante en diferentes tipos de suelo muestra resultados agronómicos y económicos muy alentadores, a pesar de la complejidad de las interacciones que existen entre el ambiente físico y la respuesta biológica, lo que dificulta cuantificar la respuesta frente a diferentes prácticas de manejo (Bongiovanni, 2003).

Conjuntamente, es de mucha importancia la experiencia previa del productor o técnico responsable para el ajuste de las dosis o manejo óptimo para cada sitio (O'donnell y von Martini, 2002).

HIPÓTESIS

Existe una respuesta sitio específico de la fertilización nitrogenada en maíz que permite deducir posibles ajustes de dosis por ambiente, brindando nuevos parámetros a tener en cuenta para la utilización de otras metodologías de diagnóstico utilizadas.

OBJETIVO GENERAL

Comprobar la existencia de respuesta diferencial a la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, mediante el análisis sitio específico, para concluir en viables ajustes de dosis.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Actualizar la caracterización de ambientes mediante análisis de suelo obtenido por muestreo estratificado al azar.
- Monitorear el contenido hídrico del perfil de suelo en cada ambiente y en etapas claves del ciclo del cultivo obteniendo uno de los tantos factores que explican el rendimiento.
- En cada ambiente, referenciar la humedad del suelo con el contenido hídrico a capacidad de campo para evaluar la magnitud y momento de ocurrencia de déficit o suficiencia hídrica.
- Corroborar la respuesta diferencial sitio específico a la fertilización con nitrógeno mediante mapa de rendimiento.
- Establecer y contrastar los rendimientos en los diferentes sitios o ambientes, con las dosis de fertilizante nitrogenado y las variables que caracterizan cada uno de los ambientes.
- Evaluar la metodología del balance de nitrógeno para el ajuste de dosis por sitio.
- Elaborar curvas de respuesta, por sitio, a la fertilización nitrogenada a través del rendimiento en grano del cultivo de maíz y analizar la eficiencia de fertilización para cada tratamiento.
- Experimentar y evaluar la metodología de testigos apareados en el diseño de ensayos a campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN DEL LOTE Y CONTEXTO AMBIENTAL

El lote en consideración se encuentra en el sudoeste de la provincia de Córdoba, dentro del departamento Río Cuarto, en la intersección entre la Ruta Nacional número 36 y la Ruta Provincial número 24 que se dirige hacia la localidad de Alpa Corral ($32^{\circ} 58' 57.511''$ S, $64^{\circ} 21' 13.325''$ O).

Fisiográficamente se dispone en la planicie periserrana ondulada. Es un plano alto, con pendiente regional hacia el este, bastante uniforme y que disminuye en el mismo sentido. El relieve está parcialmente cubierto por depósitos de pedemonte y totalmente cubierto por una potente acumulación eólica franco-areno-limosa. Presenta además, líneas estructurales que cortan en dos sentidos (noreste-sudoeste y noroeste-sudeste) a las vías de desagüe, las que generalmente adoptan sus diseños de drenaje. En las partes más onduladas es frecuente observar fenómenos erosivos por exceso de laboreo. Son suelos ubicados en ambientes planos y suavemente ondulados, bien drenados, profundos, franco arenoso en superficie, francos en subsuelo, desarrollados sobre materiales francos, de débil desarrollo y vinculados a sectores deprimidos (INTA Manfredi, 2003).

El perfil representativo corresponde a un Hapludol típico de débil desarrollo, con horizonte A1 de 22 cm de moderado contenido de materia orgánica (INTA Manfredi, 2003).

El clima es subhúmedo con estación seca y régimen térmico mesotermal determinado por las temperaturas medias del mes más cálido, enero, del mes más frío, julio, y por la amplitud térmica anual. El régimen pluviométrico, al concentrarse desde mediados de primavera hasta mediados del otoño, se denomina monzónico con un promedio anual de 800 mm (INTA Manfredi, 2003).

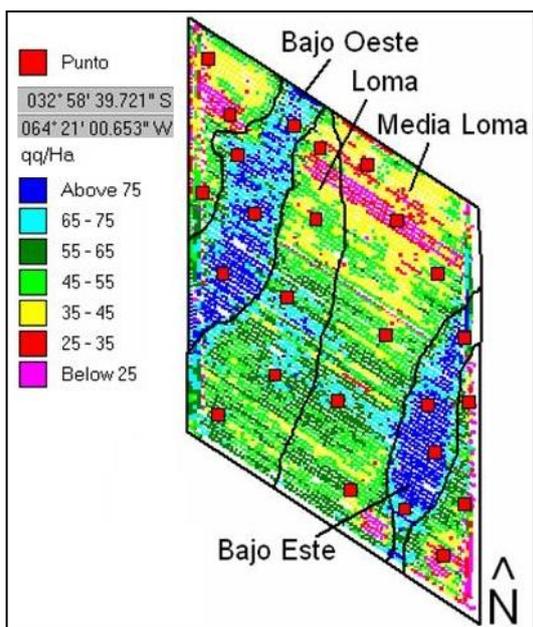
Las sequías son una de las principales adversidades que afectan, en forma recurrente y con extrema severidad a las producciones agrícolas. Por otro lado, en primavera y comienzos de verano suelen presentarse precipitaciones sólidas (granizo) causando pérdidas totales o parciales de cultivos estivales e invernales. Este fenómeno es errático y afecta solo a sectores bien definidos (INTA Manfredi, 2003).

MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELO

En agosto del 2003 se realizó un muestreo de suelos para las profundidades 0 a 20 y 20 a 40 cm, con la finalidad de obtener datos de materia orgánica (MO), fósforo (P), nitrógeno de nitratos (N-NO_3^-) y humedad (H°) (anexo 1). Las determinaciones en laboratorio, fueron realizadas por los métodos Walkley-Black para materia orgánica (Nelson y Sommers, 1982), Kurtz y Bray 1 para fósforo (Olsen y Sommers, 1982), y reducción por cadmio para N-NO_3^- (Keeney y Nelson, 1982).

La metodología de muestreo en esta investigación es el estratificado al azar, cuyo fundamento radica en la recolección de muestras al azar en cada sub-área, sitio, o ambiente identificado dentro de un lote o superficie establecida (Thomas y Halvorson, 1996).

Las denominadas sub-áreas, son delineadas porque tienen quizás únicas características que pueden hacerlas fácilmente identificables dentro de la totalidad del área. Esto puede ser conveniente cuando, se abarcan diferentes series de suelos, existen grandes variaciones topográficas, hay zonas



improductivas, por cambios en el manejo del suelo y la vegetación o, por zonas de rendimientos según la expresión del mapa (Thomas y Halvorson, 1996).

La ventaja del método es la de permitir al investigador caracterizar cada sub-área y mejorar la estimación frente a la de un muestreo en la totalidad del área. La desventaja es acrecentar las labores para el muestreo y, por otro lado, los costos analíticos (Thomas y Halvorson, 1996).

El número de muestras a tomar en cada sub-área depende del objetivo de muestreo, de las diferencias detectables esperadas y de la homogeneidad y/o heterogeneidad del área (Díaz-Zorita y Melgar, 1997).

Figura 1. Puntos de muestreo, mapa de rinde y sitios

Para nuestro caso, anticipadamente se establecieron 25 estaciones de muestreo por elección y georreferenciación de puntos conocidos espacialmente (■). El criterio se basó en el conocimiento de la existencia de variabilidad topográfica y productiva en cada sub-área o ambiente del lote, de manera de dirigirse a cada lugar, mediante el uso de un GPS, y poder tomar muestras compuestas en cada una de las estaciones de muestreo (figura 1). Comúnmente llaman a esta técnica “muestreo dirigido de suelos”, pero básicamente es un muestreo estratificado con la salvedad de dirigirse a estaciones o puntos de muestreo preestablecidos.

SIEMBRA DEL CULTIVO

En el mes de diciembre y con la llegada de las lluvias, se efectuó la siembra del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con ensayos referidos al manejo sitio específico de los insumos a través de las herramientas que ofrece la AdeP. Se utilizó para la siembra, semilla marca PIONEER™ categoría híbrido 32G63 transgénico MaízGard® (MG) y, fertilizantes fosfato diamónico (FDA) y urea ASP®.

La labor se realizó con una sembradora Agrometal® modelo TX Mega versión prototipo experimental, con dosificador neumático bajo el principio de succión y tren de doble fertilización de 12 cuerpos

distanciados a 52,5 cm. La maquinaria cuenta con dos motores hidráulicos comandados por un sistema eléctrico que accionan válvulas controladoras del giro de los distribuidores de semilla y fertilizante (desarrollada en conjunto con el Proyecto AdeP INTA Manfredi) (Bragachini *et al.*, 2003 a).

MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Durante el ciclo del cultivo, más precisamente alrededor de floración y en estado de grano lechoso, se extrajeron muestras de suelo para la obtención del contenido hídrico en cada uno de los sitios identificados en el lote. Se muestreó hasta el metro de profundidad con estratos de 20 cm de suelo.

Para el contenido hídrico del suelo se utilizó la técnica de pesado en húmedo, secado en estufa, y pesado en seco de las muestras. Con ello se obtuvo el contenido gravimétrico de humedad (% - gr/gr).

Por otro lado, las muestras se saturaron con agua y se sometieron a una presión de 0.33 bar, considerada como el contenido hídrico a un potencial matriz equivalente a capacidad de campo según Klute (1974). Para ello se utilizó la metodología de ollas de presión (Klute, 1974).

Se consideró el contenido hídrico en punto de marchitez permanente como la mitad del de capacidad de campo y el contenido de agua útil para las plantas, el ubicado entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Duchaufour, 1975). A su vez, y al poseer el dato de densidad aparente para cada ambiente, los valores se expresaron en lámina de agua (mm) para el perfil de suelo hasta el metro de profundidad.

COSECHA DEL CULTIVO, OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE RESULTADOS

La cosecha se realizó a mediados de junio del año 2004, con una cosechadora Don Roque[®] modelo 150 con cabezal maicero Maizco[®] de 13 surcos a 0.525 m, equipada con monitor de rendimiento AgLeader[®] modelo YM 2000, GPS y receptor DGPS Trimble[®] con sistema de corrección diferencial Beacon.

Para obtener el mapa de rendimiento, y por ende procesar los datos, se utilizó el software Farm Works[®] versión 6.05. Otras herramientas utilizadas fueron, el software Surfer[®] versión 8.00 y el software estadístico InfoStat[®] versión 1.1 profesional.

PARTICULARIDADES DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA

La campaña 2003/04 comenzó con una sequía prolongada desde el mes de abril hasta diciembre del año 2003. Ese año, representó el 66 % de las precipitaciones medias normales, el 60 % de las precipitaciones del año 2001 (año del primer ensayo de maíz en el lote) y el 53 % de las precipitaciones del año 2004 (gráfico 1).

Como ya se mencionó, las primeras precipitaciones considerables para la siembra del cultivo ocurrieron al comenzar diciembre pero, para todo el ciclo del cultivo las precipitaciones mensuales fueron siempre superiores a los respectivos valores medios normales (gráfico 2).

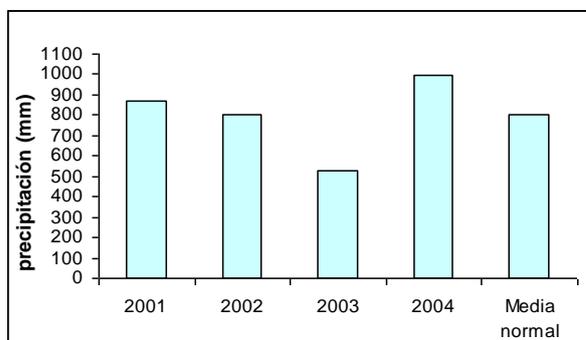


Gráfico 1. Precipitaciones anuales y media normal

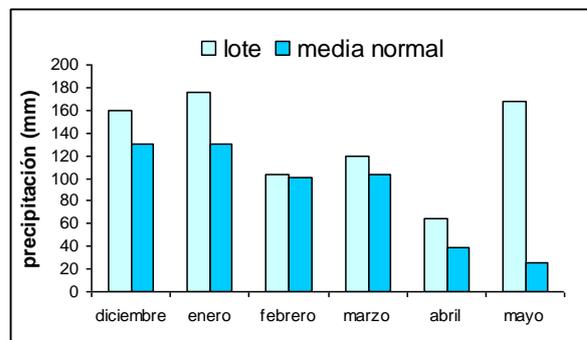


Gráfico 2. Precipitaciones en el ciclo del cultivo

ENSAYO DE RESPUESTA SITIO ESPECÍFICO A LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO

Fecha de siembra: 5 y 6 de diciembre de 2003.

Densidad de siembra: 70.000 semillas/Ha.

Tratamientos: 0, 23, 46, 69, 92, 115 Kg/Ha de N (0, 50, 100, 150, 200 y 250 Kg/Ha de urea).

Fertilización: 100 Kg/Ha de fosfato diamónico (FDA) en la línea y dosis según tratamiento de urea al costado y en profundidad. Ancho de tratamientos: 12 surcos a 0,525 m (6,3 m).

Distribución de tratamientos al azar, tres repeticiones y testigos apareados de dosis 46 KgN/ha.

Sitios o ambientes tratados: Bajo Oeste, Loma, Media Loma y Bajo Este.

Fecha de cosecha: 12 y 13 de junio de 2004.

DISEÑO DEL ENSAYO

Como existe variabilidad entre las unidades experimentales, los grupos homogéneos pueden ser vistos como bloques para implementar la estrategia experimental conocida como Diseño en Bloques. El principio del diseño señala que las unidades experimentales dentro de cada bloque o grupo deben ser parecidas entre sí (homogeneidad dentro de bloque) y que los bloques debieran ser diferentes entre sí (heterogeneidad entre bloques). Es decir, el agrupamiento del material experimental debe ser tal, que las unidades experimentales dentro de un bloque sean tan homogéneas como sea posible y los bloques deben diseñarse para que las diferencias entre unidades experimentales sean explicadas, en mayor proporción, por las diferencias entre bloques (Infostat, 2002).

El diseño de este ensayo se denomina Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA). Es en bloques completos porque en cada bloque aparecen todos los tratamientos, y al azar porque dentro de cada bloque los tratamientos son asignados a las parcelas en forma aleatoria. Todas las parcelas de un

mismo bloque tienen la misma probabilidad de recibir cualquiera de los tratamientos. Los bloques son cuatro (ambientes) y los tratamientos totales seis, si se contabiliza el que va continuamente como testigo. Este último, le adjudica a cada tratamiento un par de testigos apareados o lindantes (tabla 1). Este sistema de evaluación denominado testigos apareados, pretende aislar los efectos ambientales con tratamientos bien contrastantes en su efecto sobre el rendimiento, cruzando los ambientes o variabilidad y obteniendo resultados de diferencias respecto al testigo apareado para poder concluir con certeza (figura 2). De este modo, se evalúan los tratamientos por más que se modifique su posición, pero siempre con el mismo testigo obteniendo el rendimiento relativo con respecto a este, con una variación espacial de respuesta a los diferentes ambientes que cruce la franja como ser en este caso bajo, media loma y loma.

En conclusión los tratamientos son cinco ya que, las dosis de 115, 92, 69, 23 y 0 KgN/ha quedan apareadas por dosis de 46 KgN/ha, dando un rendimiento relativo con respecto al testigo apareado que resulta constante a lo ancho del ensayo.

Tabla 1. Plano del ensayo (norte a sur).

46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
115 kg/ha de N (250 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
92 kg/ha de N (200 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
0 kg/ha de N
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
23 kg/ha de N (50 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
69 kg/ha de N (150 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
0 kg/ha de N
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
23 kg/ha de N (50 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
115 kg/ha de N (250 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
92 kg/ha de N (200 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
69 kg/ha de N (150 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
23 kg/ha de N (50 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
0 kg/ha de N
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
69 kg/ha de N (200 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
92 kg/ha de N (150 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)
115 kg/ha de N (150 kg/ha de Urea)
46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea)

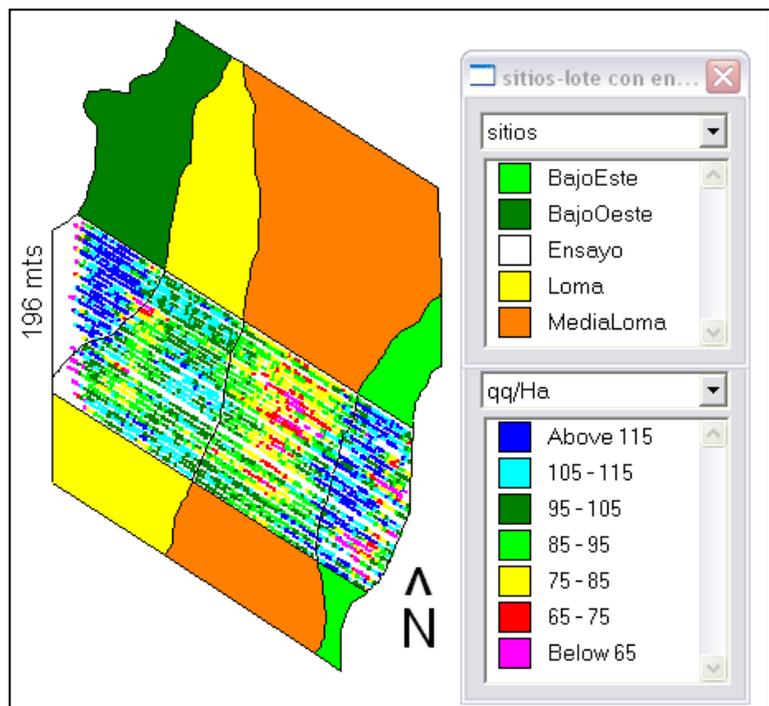


Figura 2. Ubicación del ensayo en el lote.

Cabe mencionar que en el análisis estadístico de los datos, las comparaciones de medias de cualquiera de los resultados obtenidos en el ensayo o en la confección del presente trabajo es por la prueba LSD de Fisher con un nivel de significación o alfa de 0.05.

ANÁLISIS DE LOS DATOS DE RENDIMIENTO POR METODOLOGÍA DE TESTIGOS APAREADOS

El mapa de rendimiento es la representación gráfica de la producción del lote, por la distribución espacial de puntos que contienen, entre otros, información de ubicación geográfica, rendimiento y posible tratamiento realizado en cada uno. Procesando esa información se obtienen los datos de campo para su posterior estudio.

Para evaluar a campo ensayos en franjas, como el que nos compete, solo se debe poseer el monitor de rendimiento calibrado y cosechar los ensayos respetando las franjas de los tratamientos. Esta cuestión práctica tiene la ventaja de que el análisis de los resultados se puede realizar por sectores diferentes de los lotes, y de esta manera ajustar el manejo diferencial dentro de los lotes. Por ejemplo, la respuesta en rendimiento de diferentes dosis de fertilizantes en el cultivo de maíz pueden ser idénticas si se usan los promedios, pero diametralmente opuestas en la loma y en el bajo de un lote; ese valioso dato sólo se logra a través del mapa de rendimiento (Bragachini *et al*, 2003).

En este trabajo, los datos de rendimiento por dosis de fertilizante y por sitios se obtuvieron mediante el mapa de rendimiento logrado en la cosecha, con su posterior manipulación a través del software Farm Works[®], de tipo GIS.

En el análisis de los datos, se compara el rendimiento promedio de las franjas testigo de 46 KgN/ha que aparean cada tratamiento en cada uno de los sitios, con cada tratamiento obteniendo con ello un índice en porcentaje, denominado comúnmente rendimiento relativo (Rto rvo).

Para ello, cualquier tratamiento significa el 100 % del rendimiento y, por ende, el testigo será el porcentual de logro de ese rendimiento, significando si es recomendable la dosis testigo frente a los distintos tratamientos. Esto puede comprenderse con el ejemplo de la tabla 2.

Tabla 2. Ejemplo de cálculo de Rendimiento Relativo (Rto rvo %)

A: 46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea); Rto A (qq/ha)	$\text{Rto rvo (\%)} = \frac{[(\text{Rto A} + \text{Rto B})/2] \times 100}{\text{Rto C}}$
C: 115 kg/ha de N (250 kg/ha de Urea); Rto C (qq/ha)	
B: 46 kg/ha de N (100 kg/ha de Urea); Rto B (qq/ha)	

Además se tendrán en cuenta datos productivos en qq/ha y diferenciales de rendimiento con respecto a la dosis testigo, ponderando así la respuesta diferencial de cada uno de los tratamientos.

En síntesis, la dosis de 46 KgN/ha será la referencia para decidir el ajuste de dosis de nitrógeno según la respuesta sitio específica del maíz a la fertilización nitrogenada a la siembra. Es una dosis razonable y muy utilizada en la región para aplicarla a la siembra sin considerar probables refertilizaciones.

Por otra parte, la metodología de testigos apareados buscará eliminar posibles ruidos como los de microvariabilidad a medida que se avanza en lo ancho del ensayo, para de este modo realizar una comparación objetiva de los distintos tratamientos distribuidos al azar y concluir en posibles ajustes de dosis por sitio o ambiente.

MÉTODO DEL BALANCE DE NITRÓGENO

El método del balance es la forma más común y sencilla de estimar la dosis de fertilizante a aplicar. Como todo balance, consta de entradas (contenidos del nutriente más lo que se libera en el ciclo del cultivo) y salidas del nutriente, dado en un tiempo determinado y con un objetivo conocido, en nuestro caso, la producción de granos. De acuerdo a la ecuación formulada por Meisinger (1984):

$$N_{\text{fert}} = \frac{N_{\text{cult}} - (N_{\text{min}} * E_1) - (N_{\text{inic}} * E_2)}{E_3}$$

donde

N_{fert} = Requerimiento de fertilizante nitrogenado

N_{cult} = Requerimiento de nitrógeno del cultivo (Kg N absorbido por qq grano)

N_{min} = Nitrógeno mineralizado neto durante el ciclo del cultivo

N_{inic} = N-NO₃ disponible a la siembra (0-60 cm)

E_1 = Eficiencia de uso del nitrógeno mineralizado

E_2 = Eficiencia de uso del nitrógeno inorgánico inicial

E_3 = Eficiencia de uso del nitrógeno del fertilizante

La demanda de nitrógeno por el cultivo, representada por el N_{cult} , es dependiente del potencial de rendimiento del híbrido, así como de las condiciones ambientales, que son impredecibles (García, 2002). Generalmente se considera un rendimiento esperado, promedio de los mejores años y sobresimplificadamente una cantidad fija de nitrógeno por tonelada de grano (Díaz-Zorita y Melgar, 1997). Para el cálculo de esta variable se usan aquellos tratamientos en donde no se manifiesta consumo de lujo del N (Melchiori y Paparotti, 1996).

El N_{inic} es la variable de más fácil cuantificación ya que se puede determinar por métodos convencionales de laboratorio previo a la implantación del cultivo, mientras que N_{min} puede ser calculado a partir de la mineralización materia orgánica, según la metodología reportada por Tisdale *et al* (1996).

Las eficiencias por las que se afecta a cada una de estas fracciones de nitrógeno (N) son diferentes debido a la disponibilidad en el tiempo que tienen cada una de ellas. Así, la eficiencia en el uso del N_{inic} puede variar entre 0.4 y 0.6 (Meisinger, 1984), mucho menor que la eficiencia de absorción de N_{min} que se encuentra en un rango que va desde 0.6 a 0.85 (Meisinger, 1984) ya que esta fracción del N del suelo es liberada gradualmente durante el ciclo del cultivo. En cuanto a la eficiencia de uso de N_{fert} , variará de acuerdo al sistema de producción (Rice and Smith, 1982), la fuente nitrogenada (García y Fabrizzi, 1998) y la tecnología de aplicación (forma y momento) (Baumer, 1996; García y Fabrizzi, 1998).

Para el cálculo de la dosis de nitrógeno por el método del balance, se asumieron los siguientes valores:

- ✓ porcentajes de materia orgánica (0-20 cm) de cada sitio, obtenidos en los análisis de suelos por muestreo dirigido (promedios por sitio);
- ✓ datos de DAP del año 2001 para las profundidades 0-20 cm y 20-40 cm;
- ✓ proporción del 5 % de la materia orgánica como nitrógeno orgánico, (Tisdale *et al*, 1996);
- ✓ mineralización anual del nitrógeno orgánico del 2.5 %, coherente y subordinado a factores como aireación, pH, temperatura, humedad, textura y estructura del suelo (Tisdale *et al*, 1996);
- ✓ índices de disponibilidad de nitrógeno, $N-NO_3^-$, expresados en Kg/ha y hasta los 40 cm para cada sitio, obtenidos en los análisis de suelos por muestreo dirigido (promedios por sitio);
- ✓ factor de liberación de nitratos de 1.2 (20 %) por ser calculada su disponibilidad en presembrado;
- ✓ aporte de nitrógeno por la fertilización con FDA en la línea de siembra (18 KgN/ha)
- ✓ demanda de 22 Kg N por Tn de grano maíz (Álvarez *et al* 2000) y rendimientos de maíz de la campaña 2001/02 tomados del mapa de rendimiento a una aplicación promedio de Urea de 100 Kg/Ha;
- ✓ eficiencias de usos del nitrógeno mineralizado, del nitrógeno inorgánico inicial, y del nitrógeno del fertilizante del 100 %.

ANTECEDENTES DEL MSE EN EL LOTE

Un trabajo del año 2001 sobre fertilización, híbridos de maíz y agricultura de precisión realizado por un convenio entre las empresas PIONEER™, A&A® (actualmente Frontera® Agropecuaria) y Agroservicios Pampeanos (ASP®) en el lote referido, fue el punto de inicio de la ya comentada implementación de AdeP para el manejo de sitio específico de los insumos. Para ello se procedió siguiendo la metodología establecida por Roberts (2003).

IDENTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD

En el lote se observa una marcada variabilidad topográfica como la gran mayoría de los campos de la zona, puntualizada por el plano altimétrico (figura 3). Tanto fotografías aéreas (figura 5) como imágenes satelitales, permiten identificar claramente dicha variabilidad contrastando las particulares zonas de bajos y lomas.

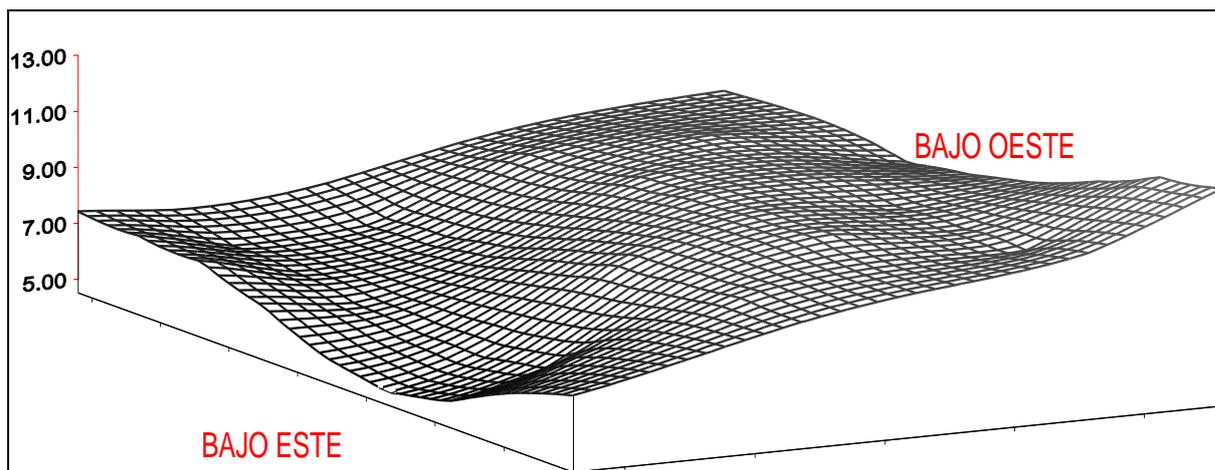


Figura 3. Plano alimétrico.

En la imagen tomada por el satélite Landsat 752 el 30 de marzo del año 2001, de amarillo se observa el lote en ese momento con soja, resultando evidentes los bajos y loma, con color oscuro y claro respectivamente (figura 4). Las imágenes satelitales son una herramienta más a la hora de corroborar la repetitividad de la variabilidad en el tiempo, ya que podemos acceder a imágenes de años anteriores en los que no contamos de mapas de rendimiento. Con estos últimos, queda confirmada la variabilidad y se terminan de modelar los diferentes ambientes del lote a través de la configuración espacial del rendimiento de los distintos cultivos como en este caso, maíz de la campaña 2001/2002 y soja de la campaña 2002/2003 (figura 4).

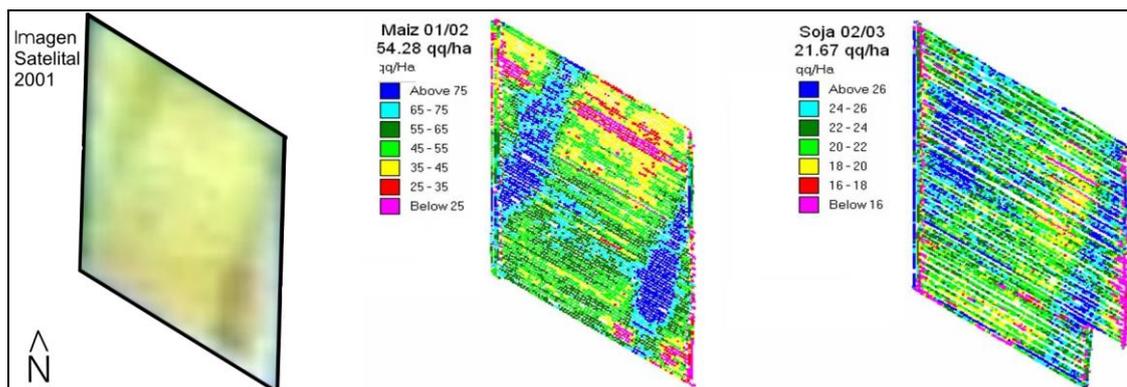


Figura 4. Imagen Satelital y Mapas de rendimiento de maíz 01/02 y soja 02/03

CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES

Cumpliendo los requisitos de magnitud, superficie y repetividad para realizar un manejo sitio específico, se determinaron cuatro sitios con diferente potencial de rendimiento dentro del lote:

1. Bajo Este.
2. Media Loma.
3. Loma.
4. Bajo Oeste.

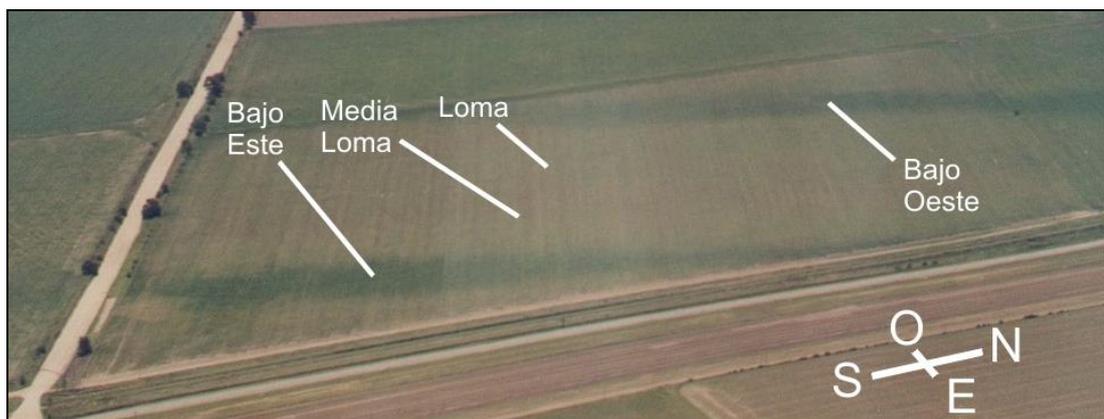


Figura 5. Fotografía aérea del lote.

Delimitados los sitios (figura 6), se buscó la causa principal o las causas que interaccionan para determinar la variabilidad de rendimiento. Esto se denomina “Caracterización de Ambientes”.

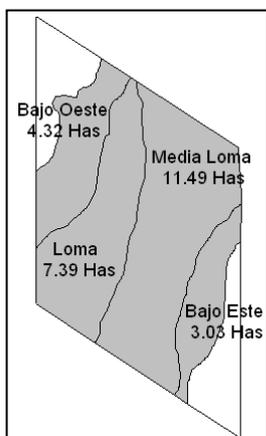


Figura 6. Sitios.

Para ello se realizó un muestreo estratificado de suelos. Se efectuaron muestras compuestas al azar para cada uno de los sitios determinados en el lote. Así se obtuvieron las características de los suelos de cada sitio, para poder inferir el efecto de ellos en la variabilidad de los rendimientos.

Se detallan los resultados del análisis de suelo del año 2001 en los cuales los niveles de materia orgánica (%) y fósforo (ppm) difieren en cuantía, entre los sitios de bajos con los de loma y media loma (tabla 3).

Tabla 3. Datos analíticos de los primeros 40 cm del suelo. Año 2001.

Ambiente	Prof. (cm)	N-NO ₃ ⁻ (ppm)	% H°	% MO	K (ppm)	P (ppm)	pH	DAP (Mg/m ³)
Media Loma	0 – 20 cm	11.64	16.43	0.96	420.5	7.5	6.37	1.35
	20 – 40 cm	6.13	13.54	0.54			6.82	1.38
Bajo Oeste	0 – 20 cm	14.12	23.83	2.05	520.3	15	6.3	1.34
	20 – 40 cm	8.40	19.95	1.69			6.55	1.35
Loma	0 – 20 cm	9.80	19.5	1.26	436.8	7.7	6.41	1.39
	20 – 40 cm	5.78	15.66	0.90			6.66	1.39
Bajo Este	0 – 20 cm	11.33	25.92	2.59	588.9	20	6.49	1.29
	20 – 40 cm	8.80	22.16	1.99			6.55	1.33

N-NO₃⁻: nitrógeno de nitratos, H°: porcentaje de humedad gravimétrica, MO: porcentaje de materia orgánica, K: potasio, P: fósforo, DAP: densidad aparente

AJUSTE DE DOSIS ÓPTIMAS

Entre otros parámetros, con el mapa de rendimiento de maíz obtenido en la campaña 2001/02, se determinó la existencia de variabilidad de los rendimientos, intentando explicar dicha variabilidad a través de la caracterización de ambientes obtenida por muestreo y análisis de suelos.

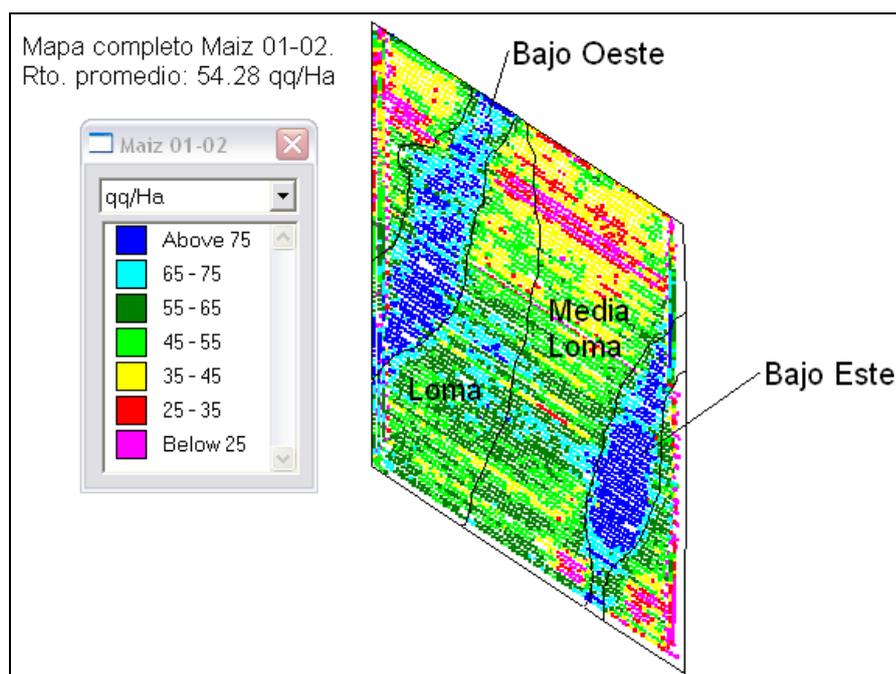


Figura 7. Mapa de rendimiento de maíz y sitios

Como manifiesta el mapa de rinde de maíz, en el año 2001, en los bajos es en donde se alcanzan los mayores rendimientos de grano manifestando así un posible manejo sectorial diferenciado (figura 7).

Resta definir el manejo localizado del nutriente, en este caso nitrógeno. Para ello se actualiza la caracterización de ambientes mediante muestreo y análisis de suelos, con el fin de llevar a cabo ensayos que permitan vincular la teoría con la investigación empírica validando la hipótesis planteada y las relaciones teóricas con la orientación analítica y metodológica para conducir la investigación.

RESULTADOS y DISCUSION

ACTUALIZACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES

Entre otras utilidades, la finalidad de un programa de análisis de suelos es realizar recomendaciones de fertilización que produzcan el máximo retorno económico bajo las condiciones agroeconómicas reinantes e incrementar los niveles de fertilidad del suelo originariamente deficientes, evaluarlos periódicamente y estabilizarlos en el largo plazo (Díaz-Zorita y Melgar, 1997).

La recolección de la muestra es el paso más importante en los programas de análisis porque, se utiliza una muestra para obtener información representativa de todo el lote (Díaz-Zorita y Melgar, 1997).

Existen varios tipos de muestreo y todos objetan obtener una muestra representativa. El criterio para aislar ambientes diferentes contribuye a separar e identificar las causas que afectan la fertilidad y consecuentemente las recomendaciones de fertilización (Díaz-Zorita y Melgar, 1997).

En este trabajo, obtenidos los resultados del análisis de suelo de cada una de las estaciones de muestreo georreferenciadas para cada ambiente o sitio identificado en el lote, se construyeron mapas de puntos para luego, con los datos analíticos, obtener la interpolación espacial de los niveles de los nutrientes a través de sistemas GIS (Geographic Information System) como por ejemplo FarmWorks[®] o, por software de confección de mapas de superficie o grillas como por ejemplo Surfer[®].

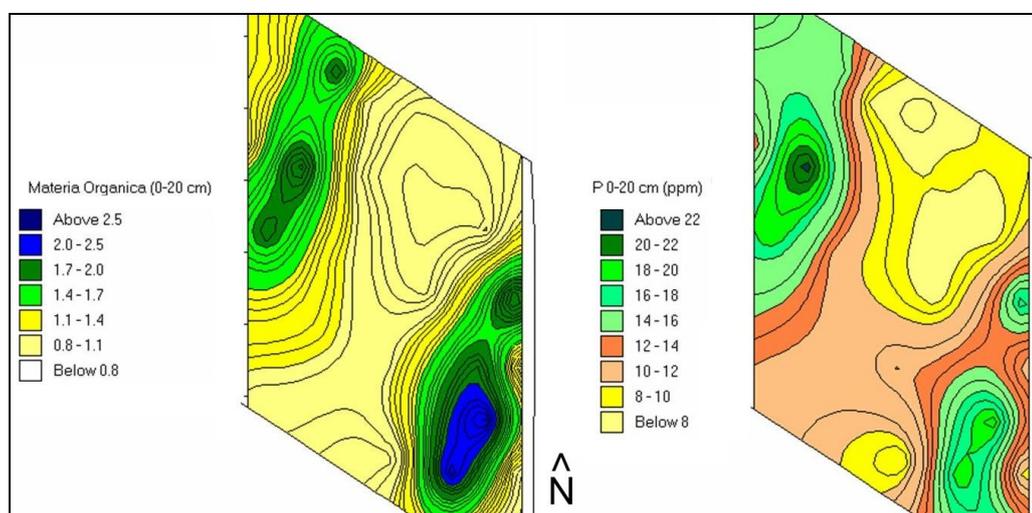


Figura 8. Mapa de materia orgánica (izquierda) y mapa del nivel de fósforo (derecha)

Como puede verse en los mapas de materia orgánica y fósforo, los bajos quedan perfectamente indicados con la mayor concentración de estos parámetros del suelo para la profundidad de 0 a 20 cm (figura 8). Esto no hace más que reafirmar la variabilidad existente en los sitios ya identificados.

También se confeccionaron grillas tridimensionales georreferenciadas generadas por interpolación de valores (figura 9). Con ellas se logra una mejor visualización de los niveles de materia orgánica y fósforo. Además, son inversas en su forma a la figura tridimensional del plano altimétrico.

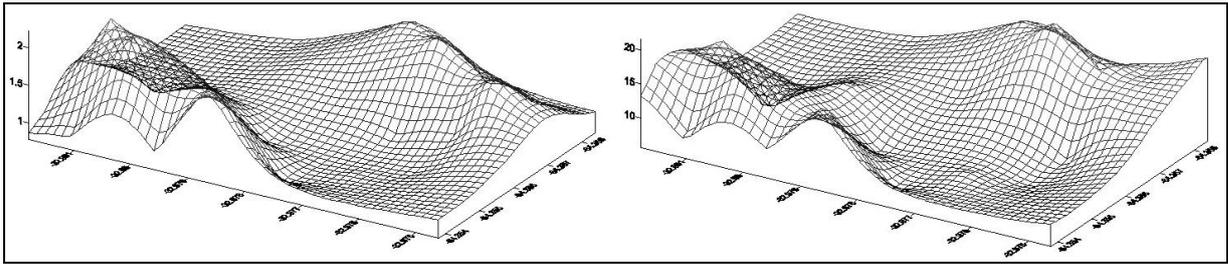


Figura 9. Grilla por interpolación del nivel de materia orgánica (izquierda) y del nivel de fósforo (derecha)

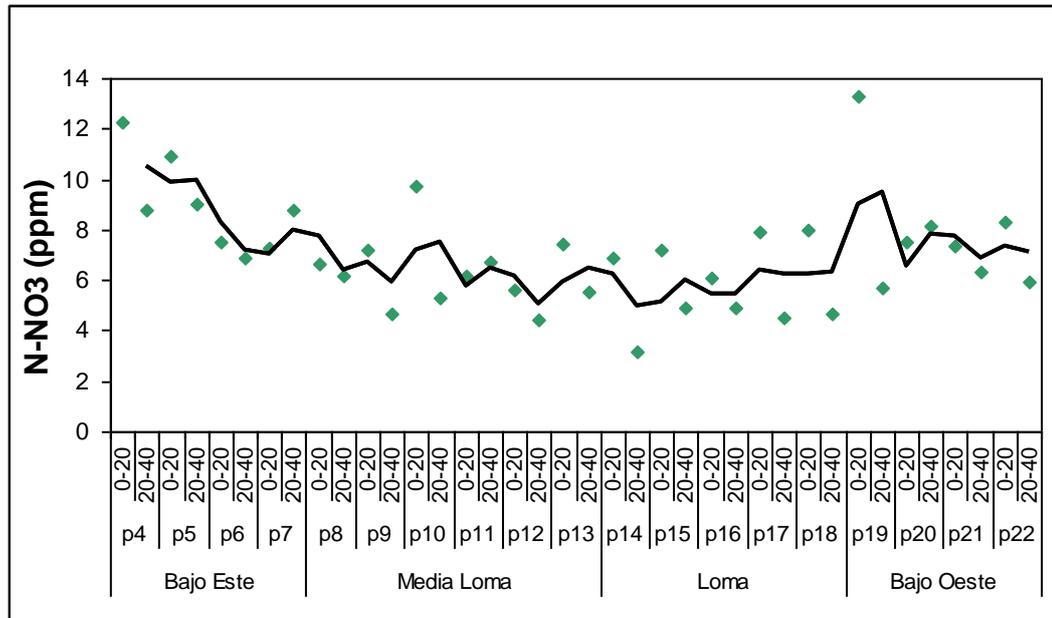


Gráfico 3. Nivel de nitrógeno según el índice de disponibilidad $N-NO_3^-$.

Otro nutriente como el nitrógeno, ostenta de igual forma mayor concentración en los ambientes de bajos en comparación con loma y media loma (posee los mayores niveles del índice de disponibilidad $N-NO_3^-$) (gráfico 3).

Utilizando los datos de densidad aparente (DAP) obtenidos en el año 2001 por la metodología

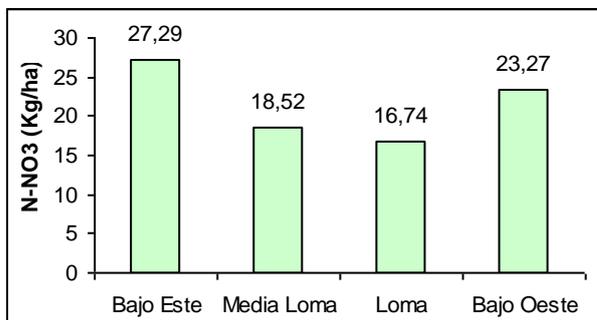
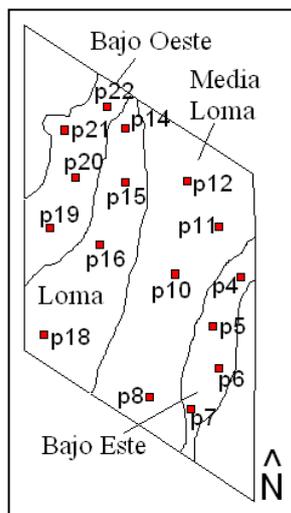


Gráfico 4. $N-NO_3^-$ (Kg/ha) en primeros 40 cm de suelo.

propuesta por Blake y Hartge (1986), se expresó el índice de disponibilidad de nitrógeno, $N-NO_3^-$, en Kg/ha para los primeros 40 cm de suelo. La disponibilidad del nutriente es superior en los bajos, seguidos por la media loma y por último, la loma, como muestra el gráfico 4.

Los niveles de $N-NO_3^-$ son importantes para poder indagar el posible ajuste de dosis ya que, la mayoría de los métodos de diagnósticos y recomendaciones de fertilización se basan en la presencia de $N-NO_3^-$ al momento de la siembra. También son importantes características y variables como DAP, materia orgánica, coeficientes de mineralización, tipo de suelos, labranzas, temperatura, etc.

VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LA VARIABILIDAD Y/O DIFERENTES AMBIENTES



Para comprobar objetivamente si la variabilidad existente es objeto de los ambientes o sitios ya definidos o si se debe al azar o error experimental, se realiza un análisis estadístico para las propiedades del suelo materia orgánica, fósforo y nitrógeno. Para ello, se emplean los resultados de las muestras obtenidas en los puntos 4, 5, 6, y 7 para el bajo este; 8, 9, 10, y 12 para la media loma; 15, 16, 17, y 18 para la loma y, 19, 20, 21, y 22 para el bajo oeste (figura 10).

Utilizando esos puntos, las repeticiones quedan igualadas balanceándose el modelo para operar correctamente los datos con el software InfoStat®.

Figura 10. Puntos analizados.

Tabla 4. Análisis de la Varianza para las propiedades del suelo.

Variable	N (nº muestras)	R ²	R ² ajustado	CV
MO (%) 0-20 cm	16	0.94	0.93	9.92
P (ppm) 0-20 cm	16	0.77	0.71	24.39
N-NO ₃ ⁻ (Kg/ha) 0-40 cm	16	0.66	0.58	16.05

El número de muestras (N) surge de cuatro repeticiones o puntos, para los cuatro sitios o ambientes identificados en el lote. El ajuste (R²) es adecuado para todos los parámetros, pero menor en N-NO₃⁻, evidenciando por su R² y CV respectivamente (tabla 4).

Para todos los casos, se cumplen los supuestos del ANOVA normalidad y homogeneidad de varianzas.

Tabla 5. Grados de libertad y p-valor (SC tipo III)

FdeV	MO (%) 0-20 cm		P (ppm) 0-20 cm		N-NO ₃ ⁻ (Kg/ha) 0-40 cm	
	GL	p-valor	GL	p-valor	GL	p-valor
Modelo	3	0.0001	3	0.0004	3	0.0035
Ambiente o sitio	3	0.0001	3	0.0004	3	0.0035
Error	12		12		12	
Total	15		15		15	

Trabajando con un alfa o nivel de significación de 0.05 con 3 y 12 grados de libertad, existen diferencias altamente significativas en los niveles de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. Por otro lado, con igual significación y grados de libertad, hay diferencias significativas entre los sitios lo que ratifica la variabilidad de los mismos e instala una probable aptitud para el manejo sitio específico de los insumos como el nitrógeno (tabla 5).

Para la materia orgánica, el sitio que posee mayores porcentajes es el bajo este, seguido por el bajo oeste, loma y por último, media loma. Todos ellos difieren significativamente (tabla 6).

Tabla 6. Comparación de medias de Materia Orgánica (%)

Ambiente o sitio	Medias MO (%)	n				
Media Loma	0,84	4	A			
Loma	1,06	4		B		
Bajo Oeste	1,76	4			C	
Bajo Este	2,10	4				D

Los niveles de fósforo (ppm) para los primeros 20 cm de suelo, no difieren entre ambos bajos y, entre loma y pendiente, pero si entre uno y otro par de ambientes. Los mayores niveles de fósforo se dan en los bajos y son bien contrastantes con los sitios restantes (tabla 7).

Tabla 7. Comparación de medias de Fósforo (ppm)

Ambiente o sitio	Medias P (ppm)	N		
Media Loma	6,35	4	A	
Loma	9,13	4	A	
Bajo Este	16,63	4		B
Bajo Oeste	17,63	4		B

Para el nitrógeno (Kg/ha N-NO₃⁻) al momento de barbecho o presiembra, las diferencias entre sitios son menos contrastantes, pero existen. Esto también se aprecia en el gráfico 1, donde los bajos son los sitios mejor provistos de este nutriente, por su índice de disponibilidad, hasta los 40 cm de profundidad (tabla 8).

Tabla 8. Comparación de medias de N-NO₃⁻ (Kg/ha)

Ambiente o sitio	Medias N-NO ₃ ⁻ (Kg/ha)	n			
Loma	16,46	4	A		
Media Loma	18,67	4	A	B	
Bajo Oeste	23,39	4		B	C
Bajo Este	27,29	4			C

Se concluye en que los datos analíticos de las primeras capas del suelo confirman la repetición de los ambientes en el tiempo y vuelven a contrastar, al igual que el rendimiento de maíz 2001/02, las diferencias entre sitios (ver figura 7, pág. 14). Estas diferencias no son explicadas siempre por las diferencias entre las variables en discusión, sino que dependen del análisis particular de cada una y en cada sitio determinado.

Para el caso del nivel de materia orgánica cada ambiente se individualiza y difiere del otro imponiendo una jerarquía encabezada por el bajo este, seguida por el bajo oeste, loma y media loma.

El nivel de fósforo, agrupa los bajos por un lado, y loma y media loma por otro. Si solo nos guiáramos por este parámetro a la hora de decidir una aplicación variable sectorial de fosforo, los sitios a tratar serían dos y no cuatro.

Por último, la interpretación de los datos de nitrógeno de nitratos es más compleja debido a la mayor dispersión de ellos. Si fuera por esto, una aplicación variable de nitrógeno contemplaría dos sitios, la loma y la unificación del resto de los ambientes.

DINÁMICA HÍDRICA DEL PERFIL

La variabilidad más pronunciada en nuestra región, que corresponde a un clima transicional, en general ocurre por terrenos ondulados donde los rendimientos son reducidos en las lomas comparados con el rendimiento de los bajos. El gradiente de rendimiento resulta de la redistribución del suelo (arrastre por escurrimiento) y humedad desde las partes altas hacia las bajas (Bragachini *et al*, 2003).

Debido al escurrimiento, las lomas están expuestas a menor lixiviación, menor desarrollo del perfil, menor acumulación de materia orgánica y la formación de suelo predecible. En contraparte, la acumulación en las partes bajas favorece el desarrollo del perfil, la materia orgánica, y otras propiedades que definen las diferencias en el potencial productivo de estos sectores (Bragachini *et al*, 2003).

La redistribución del agua no solo afecta la formación del suelo y sus propiedades sino también importa anualmente en el potencial de producción. Sabiendo ésto y teniendo en cuenta el tipo de suelo, con la determinación del contenido hídrico del perfil en momentos claves del ciclo del cultivo, se pudo conocer otro de los factores que definen el rendimiento del cultivo de maíz (Bragachini *et al*, 2003).

Como ya se mencionó, el momento de siembra se fue trasladando fuera de lo óptimo para el cultivo en estas latitudes por lo que, se esperarían bajas en los rendimientos directamente asociadas al factor fecha de siembra.

Antes de la siembra, precisamente en agosto, los primeros 20 cm de suelo para los sitios loma y media loma presentaban contenidos de humedad por debajo de la condición capacidad de campo en un 73 % y 74 % de ella respectivamente. En los bajos, en cambio, la condición de humedad estuvo por encima o cercana a capacidad de campo.

Cuando floreció el cultivo de maíz en la totalidad del lote, pasados 74 días desde la siembra, el perfil de suelo presentó contenidos de humedad por encima de capacidad de campo en todos los estratos de 20 cm que componen el metro de profundidad. Se puede afirmar que el perfil estaba con un excelente contenido de humedad en todos los ambientes del lote.

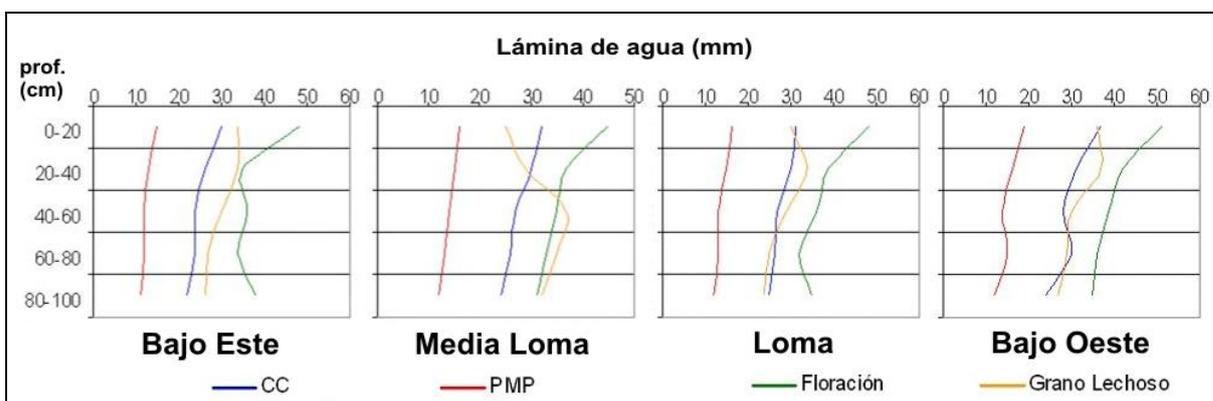


Gráfico 5. Contenido de humedad del perfil (CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente).

En el gráfico 5, la línea azul representa el estado de capacidad de campo y la roja el estado de punto de marchitez permanente, ambas en lámina de agua. El espacio entre ellas, es efectivamente el agua útil para las plantas (Duchaufour, 1975).

Como puede observarse en floración (línea verde), el perfil estuvo en todos los ambientes con humedad por encima de capacidad de campo.

En estado de grano lechoso y al cabo de 97 días desde la siembra, el sitio media loma pareció ceder ante la falta de precipitaciones ocurrida entre los 73 y 97 días desde la siembra, presentando de este modo los primeros centímetros de suelo con lámina de agua inferior a la condición de capacidad de campo. No obstante, el perfil en profundidad se encontró por encima de capacidad de campo.

Por otra parte, los bajos y la loma se comportaron mejor presentando perfiles de humedad aproximados o superiores a la condición del perfil en estado de capacidad de campo.

En los sitios de menor producción como la media loma y loma, el contenido de humedad en los primeros centímetros del suelo se resiente notablemente ante períodos en los que la oferta de precipitaciones es escasa y la demanda atmosférica es alta. Se puede afirmar que estos sitios manifiestan claramente el comportamiento hídrico del perfil el que es gobernado tanto, por la condición textural franco arenosa del suelo como por la posición topográfica que ocupan.

La potencialidad de los bajos se debe entre otros factores, al gran reservorio de agua de sus perfiles, a la menor pérdida de la misma, a pequeños cambios estructurales debidos a mayores niveles de materia orgánica y a su posición topográfica. En años húmedos, este hecho puede enmascarar efectos negativos sobre los rendimientos debidos a retrasos en la fecha de siembra del cultivo.

ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS

Para tener real dimensión de los resultados logrados en este ensayo y en la particular campaña, se presentan los rendimientos promediados (en qq/ha) de las tres repeticiones por tratamiento, y para cada par de testigos apareados de cada uno, en cada ambiente o sitio determinado (tabla 9).

Cabe mencionar que el ensayo promedia respectivamente, un rendimiento de maíz de 103 qq/ha con 50 Kg/ha de nitrógeno aplicado al momento de la siembra.

Tabla 9. Rendimientos promedios de maíz (qq/ha) por sitio, según tratamiento y testigo

Tratamiento N (Kg/ha)	Ambiente o Sitio - Rendimiento (qq/ha)			
	Bajo Este	Media Loma	Loma	Bajo Oeste
0	96,10	83,56	89,88	114,58
Testigos 46	100,46	86,13	99,64	118,41
23	106,58	90,94	94,31	115,14
Testigos 46	96,09	84,04	99,17	116,68
69	114,50	95,19	101,54	117,85
Testigos 46	96,99	82,40	99,46	116,47
92	119,18	98,46	106,89	117,42
Testigos 46	103,01	87,96	99,74	116,56
115	116,46	99,98	107,06	120,28
Testigos 46	105,46	88,96	100,11	115,44

La producción de maíz de los tratamientos sin fertilización, es inferior a la del promedio del testigo apareado (gráfico 6). Esto hará que el rendimiento relativo supere el 100 % en todos los ambientes o sitios del lote.

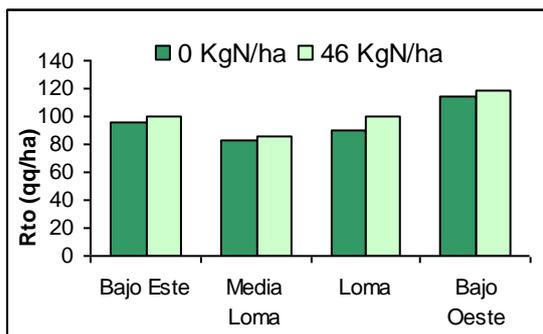


Gráfico 6. Rendimientos sin nitrógeno.

El tratamiento de 23 KgN/ha, la mitad de la dosis testigo, responde mejor que el testigo en los sitios bajo este y media loma. Con 69, 92 y 115 KgN/ha, los rindes son siempre superiores al testigo en todos los ambientes o sitios del lote (gráfico 7 A, B, C, D).

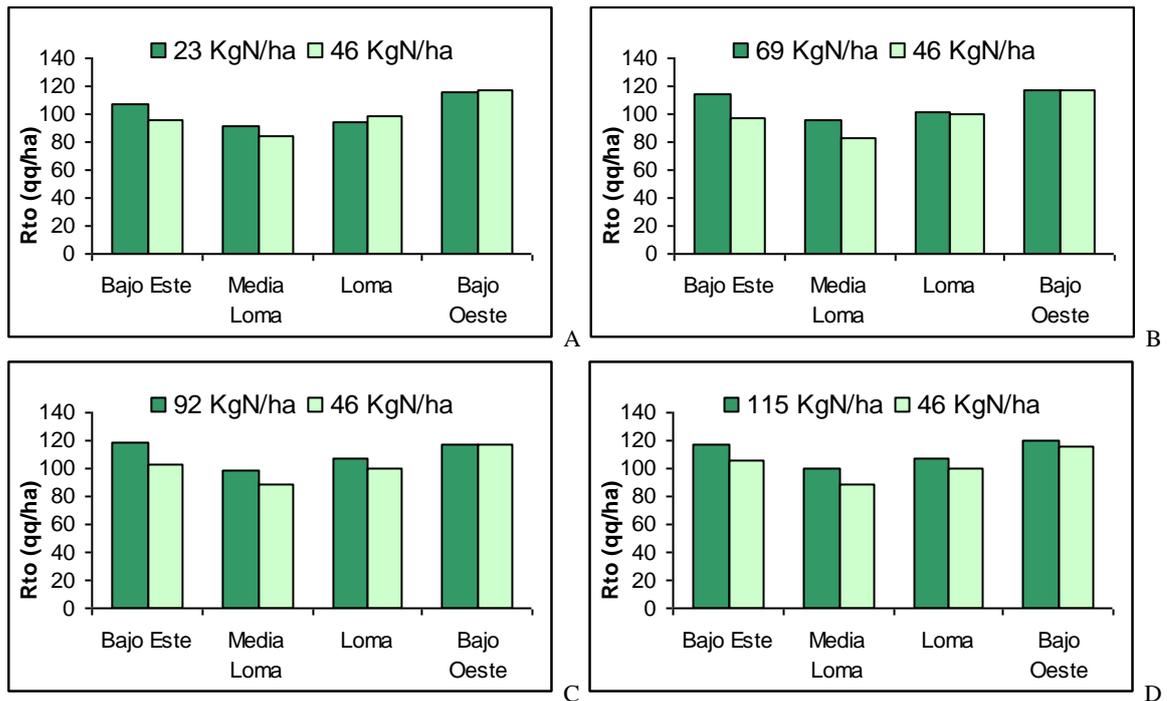


Gráfico 7. Tratamientos de fertilización vs promedio de testigos apareados.

Para entender el sistema de evaluación de testigos apareados que gira en torno de la confección del rendimiento relativo, se debe asimilar que la producción de maíz en qq/ha de cada tratamiento será inversa al índice en porcentaje. Es decir, mientras más rinda el cultivo en cada uno de los tratamientos 0, 23, 69, 92 o 115 KgN/ha, menor será el rendimiento relativo en porcentaje ya que el mismo, refleja el porcentual de logro de la dosis testigo de 46 KgN/ha.

El objetivo del sistema de testigos apareados es el de eliminar fuentes de variación y poder medir en un solo valor o índice una misma comparación para cada tratamiento. En este ensayo permitió, entre otras cosas, descubrir rendimientos no coherentes a los tratamientos en determinadas situaciones.

La causa de que un tratamiento con dosis inferior al testigo responda en mayor medida que este, puede deberse, puntualmente, a factores operacionales, propios del manejo que hacen al estado del lote y por ende del cultivo o, por cualquiera de los tantos factores que definen en cierta forma el rendimiento del cultivo de maíz.

Operacionalmente, se puede dar una mala tarea en el comando del sistema de dosis variable de fertilizante de la sembradora con dosificación errónea, deslices como los de no disminuir las hileras cosechadas en el monitor de rendimiento cada vez que se entra a un tratamiento subestimando así el cálculo de rinde (recordar que el cabezal era de 13 hileras y los tratamientos de 12) o, por mala operación del monitor de rendimiento y posteriormente de los de datos.

En cuanto al manejo, los tratamientos pueden corresponder a sectores enmalezados o con fallas de pulverización y/o siembra.

Fortuita y puntualmente, la ocurrencia de fuertes vientos y la escorrentía del agua de lluvia, pudo haber afectado determinadas zonas de la media loma que corresponden a tal tratamiento.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Mediante el software InfoStat[®], se realizó un ANOVA a los rendimientos relativos de todos los tratamientos, obtenidos en los distintos ambientes del lote, para determinar la respuesta sitio específica de la fertilización nitrogenada a la siembra en el cultivo de maíz.

La ecuación del modelo estadístico es la siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

Donde; Y_{ij} : es un dato numérico (%) de la variable dependiente u observación (rendimiento relativo) que se obtiene en la unidad experimental a la cual se le aplicó el tratamiento dosis de nitrógeno.

μ : Promedio en el rendimiento relativo de la población de parcelas.

α_i : efecto del tratamiento dosis de nitrógeno sobre el rendimiento relativo al de dosis 46 KgN/ha.

β_j : Efecto del bloque sobre el rendimiento relativo.

ξ_{ij} : Error entre unidades experimentales o parcelas, que recibieron el mismo tratamiento y están en distintos bloques. Debe tener una distribución normal con media 0 y desviación e.

Hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_a) para conocer la diferencia entre tratamientos:

✓ $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$; H_a : algún $\alpha_i \neq$ para todo i .

Hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_a) para conocer la diferencia entre bloques o sitios:

✓ $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$; H_a : algún $\beta_j \neq$ para todo j .

Unidad Experimental (UE): una parcela de 6.3 m de ancho, por el recorrido del sitio en cuestión con 70000 semillas de maíz por hectárea, 100 Kg/Ha Fosfato diamónico y dosis de urea según tratamiento.

Tabla 10. Ensayo - Análisis de la Varianza.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento relativo (%)	60	0,64	0,59	5,80

Para el ensayo en cuestión y su diseño, se cumplen todos los supuestos del ANOVA (anexo 2).

El número de parcelas (N), producto de los cuatro bloques y los cinco tratamientos con tres repeticiones da lugar a sesenta datos de rendimiento relativo. El ajuste (R^2) es del 64 %, considerado como aceptable para trabajos a campo, y el coeficiente de variación es apropiado (tabla 10).

Para el caso de los tratamientos de diferentes dosis de nitrógeno, trabajando con un alfa de 0.05 con 4 y 52 grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula existiendo diferencias altamente significativas con los efectos en el rendimiento relativo y por ende, en la diferencia del mismo con respecto al testigo apareado. Por otro lado y con 3 y 52 grados de libertad, existen diferencias significativas entre los ambientes o sitios (bloques), lo que confirma un uso adecuado tanto del diseño en bloques como de un

futuro MSE y, supone que las disposiciones espaciales de las parcelas ejercen efecto sobre los tratamientos (apéndice 3).

Promediando la variabilidad (todos los sitios) y sin la fertilización con nitrógeno, se resigna un 5.49 % de la producción con respecto al testigo. Con 23 KgN/ha se está próximo al rinde del testigo (97 %). Para los demás tratamientos (69, 92 y 115 KgN/ha), el testigo resulta insuficiente dando rendimientos relativos inferiores al 100 %, y sin diferencias significativas entre ellos (tabla 11).

Tabla 11. Comparación de medias de Rendimiento Relativo según dosis de N

Nitrógeno (Kg/ha)	Medias	N			
0	105,49	12	A		
23	97,31	12		B	
69	91,99	12			C
92	90,86	12			C
115	91,58	12			C

Teniendo en cuenta solamente los ambientes, los rendimientos relativos en la loma y bajo oeste son superiores o próximos al 100 % y no difieren entre ellos. Esto no ocurre en media loma y bajo, donde ambos sitios tampoco difieren significativamente (tabla 12).

Tabla 12. Comparación de medias de Rendimiento Relativo según sitio

Ambiente o sitio	Medias	n		
Bajo Este	91,12	15	A	
Media Loma	91,70	15	A	
Bajo Oeste	98,45	15		B
Loma	100,51	15		B

El modelo lineal para este ensayo ajusta perfectamente, los tratamientos de fertilización ejercen efectos sobre el rendimiento, por ende en el rendimiento relativo, existiendo diferencias en los efectos de los tratamientos para con los diferentes sitios o ambientes identificados en el lote.

ANÁLISIS INDIVIDUALES POR AMBIENTE O SITIO

Comprobados los supuestos del análisis de la varianza (ANOVA), se analiza el comportamiento de los rendimientos relativos, ponderados en qq/ha, en cada uno de los sitios o ambientes, y para cada tratamiento. Para ello, se considera como variable dependiente el rendimiento relativo y como variable de clasificación tratamiento (dosis de N). Además, se particiona por ambientes o sitios.

El número de parcelas (N) analizadas es 15, dados los 5 tratamientos con tres repeticiones cada uno.

BAJO ESTE

El ajuste del modelo lineal es malo (R^2), aunque no así el coeficiente de variación (tabla 13).

En este ambiente para los tratamientos de diferentes dosis de nitrógeno, no existen diferencias altamente significativas en los efectos en el rendimiento, y por lo tanto en el rendimiento relativo al testigo a un nivel de significancia de 0.05 con 4 y 10 grados de libertad (anexo 3).

Comparando los promedios, sin la fertilización con nitrógeno se resignaría un 4.54 % del rendimiento que alcanzaría el testigo de 46 KgN/ha, representado por 4.36 qq/ha. Existen diferencias significativas para con las dosis de 69 y 92 KgN/ha, pero no para 23 y 115 KgN/ha (tabla 14).

Fertilizando a cualquier dosis, se obtienen porcentuales de logro inferiores al 100 % y por ende, diferencias de rinde negativas respecto al testigo (tabla 14). Esto indica que el rendimiento del testigo es inferior a cualquier tratamiento y, su dosis de nitrógeno resulta inadecuada.

La mayor diferencia en quintales por hectárea (valor absoluto) la posee el tratamiento de 92 KgN/ha con 17.64 qq/ha por encima de lo que se obtiene con el testigo apareado pero, no hay diferencias significativas con el resto de las dosis o tratamientos que contemplen fertilización (tabla 14).

Tabla 13. Análisis de la Varianza.

Ambiente o sitio	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Bajo Este	Rendimiento relativo (%)	15	0,50	0,30	9,63

Tabla 14. Test: LSD Fisher Alfa: = 0,05 DMS:=15,46749 Error: 36,2057 gl: 5

Nitrógeno (Kg/ha)	Medias Rto rvo (%)	Δ Rto (qq/ha)	n		
0	104,54	4.36	3	A	
115	90,72	-11.04	3	A	B
23	90,15	-10.49	3	A	B
92	85,36	-17.64	3		B
69	84,81	-17.52	3		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

El sitio bajo este impone un punto de inflexión entre la realización o no de la fertilización. Este punto no es tan claro ya que hay similitudes entre la no fertilización y dosis extremas y por otro lado, entre todas las opciones o tratamientos de fertilización.

MEDIA LOMA

Aquí, el ajuste del modelo y el coeficiente de variación son aceptables (tabla 15). Del mismo modo, los tratamientos ejercen su efecto sobre el rendimiento relativo con diferencias significativas a un nivel de significancia de 0.05 con 4 y 10 grados de libertad (anexo 3).

El testigo, sobrepasa el rendimiento del tratamiento sin fertilizante con diferencias significativas para con el resto de los tratamientos (tabla 16).

Fertilizando a cualquier dosis los diferenciales de rinde son negativos por lo que, el testigo no sería conveniente ya que se renuncia a rendimiento en comparación con los tratamientos y sin diferencias significativas entre ellos. La mayor diferencia absoluta, en quintales por hectárea, se logra con 69 KgN/ha (tabla 16).

Tabla 15. Análisis de la Varianza.

Ambiente o sitio	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Media Loma	Rendimiento relativo (%)	15	0,66	0,53	5,79

Tabla 16. Test: LSD Fisher Alfa: = 0,05 DMS:=8,51926 Error: 10,9835 gl: 5

Nitrógeno (Kg/ha)	Medias Rto rvo (%)	Δ Rto (qq/ha)	n		
0	103,18	2.56	3	A	
23	92,56	-6.90	3		B
92	88,54	-11.34	3		B
115	87,56	-12.36	3		B
69	86,67	-12.78	3		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$)

En la media loma es bien contrastante la opción entre fertilizar y no hacerlo pero, no se dilucidan posibles ajustes de dosis. Si se optara por algún tratamiento, se debería seleccionar entre los de menores dosis de nitrógeno por hectárea ya que, resultarían ser los más rentables.

LOMA

Aquí, el ajuste del modelo, el coeficiente de variación y el valor de probabilidad extrema del efecto de los tratamientos (p-valor), son excelentes (tabla 17 y anexo 3).

Las dosis por debajo de la testigo (0 y 23 KgN/ha) resultan insuficientes para lograr mayores rendimientos comparadas con el testigo, con diferencias significativas entre ellas, y con el resto. A medida que la dosis de nitrógeno aumenta, se resigna rendimiento si se fertiliza con la dosis testigo, pero sin diferencias significativas si el tratamiento aumenta, con respecto al testigo, un 50, 100 o 150 % (69, 92 o 115 KgN/ha) (tabla 18).

Con la dosis testigo se obtiene un 10.89 % más de rendimiento equivalentes a 9.76 qq/ha que sin fertilizar, resultando la mayor diferencia. También se da un 5.19 % más de rendimiento representados por 4.86 qq/ha frente a 23 KgN/ha (tabla 18).

Tabla 17. Análisis de la Varianza

Ambiente o sitio	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Loma	Rendimiento relativo (%)	15	0,90	0,86	2,66

Tabla 18. Test: LSD Fisher Alfa: = 0,05 DMS:=8,19087 Error: 10,1531 gl: 5

Nitrógeno (kg/ha)	Medias Rto rvo (%)	ΔRto (qq/ha)	n			
0	110,89	9.76	3	A		
23	105,19	4.86	3		B	
69	97,97	-2.09	3			C
92	94,46	-5.94	3			C
115	94,04	-6.40	3			C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

La loma manifiesta tres extremos bien diferentes: no fertilizar, fertilizar con 23 KgN/ha o fertilizar con más de 46 KgN/ha. Sin duda que los mejores resultados se obtienen con la fertilización y dentro de ella con la dosis testigo de 46 KgN/ha porque, se supera lo alcanzado con 23 KgN/ha y se está muy próximo a lo alcanzado por 69 KgN/ha, que resulta similar a lo de 92 y 115 KgN/ha.

BAJO OESTE

En el bajo oeste, el ajuste del modelo resulta superior al del bajo este (tabla 19). Sin embargo, se puede decir que hay diferencias significativas de los efectos de los tratamientos sobre el rendimiento relativo del cultivo de maíz (p -valor = 0.0567), a un nivel de significancia de 0.05 con 4 y 10 grados de libertad (anexo 3).

Los porcentuales de logro del testigo, para tratamientos sin fertilización y con 23 KgN/ha, son superiores al 100 %, pero sin diferencias entre ellos y con 69 KgN/ha. Lo mismo sucede para los tratamientos 23, 69 y 92 KgN/ha y, 69, 92 y 115 KgN/ha (tabla 20).

Tabla 19. Análisis de la Varianza

Ambiente o sitio	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Bajo Oeste	Rendimiento relativo (%)	15	0,69	0,45	4,49

Tabla 20. Test: LSD Fisher Alfa: = 0,05 DMS:=11,31063 Error: 19,3602 gl: 5

Nitrógeno (kg/ha)	Medias Rto rvo (%)	ΔRto (qq/ha)	n			
0	103,35	3.85	3	A		
23	101,35	1.54	3	A	B	
69	98,51	-1.85	3	A	B	C
92	95,08	-5.67	3		B	C
115	93,98	-7.24	3			C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Este sitio es el de comportamiento mas complicado a la hora de atribuir dosis de nitrógeno según significancia estadística. Existe la misma tendencia que en el sitio bajo este, con el agregado de una mayor similitud entre tratamientos de fertilización y una menor respuesta hacia la misma.

DISCUSIÓN GENERAL

Encontrar el ajuste de dosis de nitrógeno por sitio, es una tarea compleja y de resultados tan variables como el comportamiento circunstancial del clima para cada región agrícola y maicera en cuestión.

Los ambientes denominados de “alto potencial productivo”, en nuestro caso los bajos, se comportan acotadamente a la hora de presentar respuestas con diferencias estadísticamente significativas a dosis crecientes de nitrógeno fertilizado al momento de la siembra.

En definitiva, y por la potencialidad de los sitios, no se halla la madurez necesaria para encontrar la mejor dosis en ambos bajos que, parece ser inferior o similar a los 46 KgN/ha del testigo que relativiza el rendimiento. Al mismo tiempo, esta concepción debe reducirse e individualizarse para el momento de fertilización a la siembra, para cada año o campaña y, en cada lugar determinado.

Así es que, en ambos bajos, el incremento gradual de la dosis de fertilizante nitrogenado no logra manifestar diferencias significativas por lo que, la opción mas apropiada resultaría ser el tratamiento con menor dosis de nitrógeno, ya que correspondería a la más eficiente en cuanto al volumen de grano producido por unidad de nitrógeno fertilizado.

En ambientes de “bajo potencial productivo”, como la media loma, 23 KgN/ha parecen alcanzar el potencial de rendimiento del sitio. Para la loma, en cambio, la dosis testigo de 46 KgN/ha parece ser la indicada al descartar dosis inferiores a ella y no haber entre las superiores, diferencias contrastantes entre sí por tratarse de resultados debidos al azar o error experimental.

RESPUESTA SITIO ESPECÍFICA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA A LA SIEMBRA

Analizados los rendimientos relativos de cada tratamiento en cada sitio, se obtuvo la regresión lineal de los datos de rendimiento por dosis de nitrógeno recopilados mediante la manipulación del mapa de rendimiento del cultivo. Las ecuaciones de las rectas fueron las siguientes:

Bajo Este	Loma
$Rto = 0.1814 N + 99.715 \quad (R^2 = 0.86)$	$Rto = 0.1583 N + 90.47 \quad (R^2 = 0.97)$
Media Loma	Bajo Oeste
$Rto = 0.1343 N + 85.597 \quad (R^2 = 0.94)$	$Rto = 0.0457 N + 114.32 \quad (R^2 = 0.91)$

donde Rto es el rendimiento en qq/ha, N la dosis de nitrógeno en Kg/ha y R^2 el ajuste de las rectas.

La gráfica del bajo oeste manifiesta baja pendiente y adopta una conformación casi paralela al eje de las abscisas a medida que se acrecienta la dosis de nitrógeno. Por otro lado, posee el valor más elevado en la ordenada al origen y correspondiente al rendimiento sin fertilización. El bajo este, en cambio, posee la mayor pendiente o respuesta a la fertilización, con magnitud de 18 Kg de maíz por unidad de nitrógeno (gráfico 8).

La loma y media loma son aproximadas en respuesta a la fertilización pero, disímiles en potencial productivo (gráfico 8). En este aspecto, domina el sitio loma, con 90.47 qq/ha, sobre la media loma con 85.597 qq/ha.

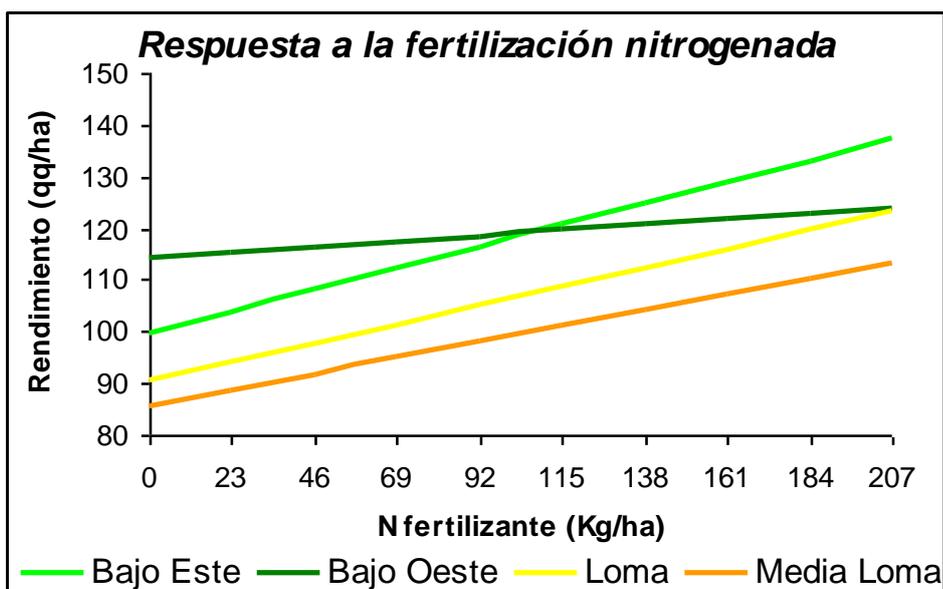


Gráfico 8. Rectas de respuesta por sitio.

La fertilización nitrogenada a la siembra en el bajo oeste, sitio de mayor potencial productivo para la campaña 2003/04, resulta superflua por la aptitud del mismo hacia la respuesta incremental en el rendimiento de maíz.

El bajo este es el segundo sitio potencialmente más productivo, pero llamativamente con mayor respuesta a la fertilización. Pareciera ser un ambiente que nunca dejaría de responder a la fertilización sumado a, un muy buen potencial de rendimiento para este año en particular.

Para loma y media loma, la respuesta a la fertilización es creciente y son los sitios a apuntar en la fertilización ya que, se arranca con los niveles más bajos de producción potencial.

COMPARACIÓN CON DIAGNÓSTICO DE FERTILIZACIÓN POR MÉTODO DEL BALANCE

Ahora bien, para tratar de ajustar la dosis por sitio debemos comparar la experiencia de la respuesta sitio específico a la fertilización nitrogenada, con alguna de las metodologías que se utilizan para el diagnóstico y recomendación de fertilización. En este trabajo, la metodología en cuestión será la del Método del Balance de Nitrógeno (ver página 13).

Tabla 21. Ejemplo de la determinación de dosis por el método del balance de nitrógeno

		Bajo Este	Media Loma	Loma	Bajo Oeste
Materia orgánica (%)		2.10	0.87	1.08	1.76
DAP (Mg/m ³)	0-20 cm	1.29	1.35	1.39	1.34
	20-40 cm	1.33	1.38	1.39	1.35
Coeficiente de mineralización (%)		2.5	2.5	2.5	2.5
Peso suelo (Tn/ha)	0-20 cm	2580	2700	2780	2680
	20-40 cm	2660	2760	2780	2700
Materia Orgánica (Kg/ha)		54180	23490	30024	47168
Nitrógeno orgánico (Kg/ha)		2709	1174.5	1501.2	2358.4
Nitrógeno mineral (Kg/ha)		67.73	29.36	37.53	58.96
N-NO ₃ ⁻ 0-40 (Kg/ha)		27.29	18.52	16.74	23.27
N-NO ₃ ⁻ liberados (Kg/ha)		32.75	22.22	20.09	27.92
N-NO ₃ ⁻ oferta total (Kg/ha)		100.47	51.59	57.62	86.88
Aporte de Nitrógeno FDA (Kg/ha)		18	18	18	18
Total Nitrógeno (Kg/ha)		118.47	69.59	75.62	104.88
Rendimiento maíz 2001/02 (Kg/ha)		9227	5773	6409	9273
Demanda de Nitrógeno (Kg/ha)		203	127	141	204
Saldo de Nitrógeno (Kg/ha)		-84.53	-57.41	-65.38	-99.12

El valor absoluto del saldo de nitrógeno (tabla 21, última fila), siempre que sea negativo, representa la dosis de nitrógeno que se debería aplicar según este método. Si es positivo, hay sobredosificación.

Teniendo en cuenta el aporte de nitrógeno de cualquiera de los tratamientos de fertilización, si el resultado de la ecuación del balance es negativo, la demanda de nitrógeno según el método no se satisface indicando que no se cumple con este diagnóstico de fertilización nitrogenada. Ocurre lo contrario si la ecuación resulta positiva, cumpliéndose con este diagnóstico de fertilización.

Para el cálculo, el método se limita a la dinámica del nitrógeno en el suelo a cierta profundidad y, se asume un índice de mineralización anual dentro de una variación entre 1 al 4 % dependiendo entre otras cosas, de la temperatura, humedad del suelo y del manejo cultural del lote (Tisdale *et al*, 1996).

Además, solo se disponen de datos de N-NO₃⁻ hasta los 40 cm de profundidad, frente a los 60 cm indicados en la ecuación de Meisinger (1984) y, se suponen insuperables eficiencias de uso del nitrógeno ya sea mineral, inicial o fertilizado.

DEMANDA DE NITRÓGENO SEGÚN RENDIMIENTOS DE MAÍZ CAMPAÑA 2001/02

En el bajo este y para la demanda de nitrógeno del rendimiento de la campaña 2001/02, solo se satisface la ecuación del balance con 92 y 115 KgN/ha. En la media loma y loma se agrega la dosis de 69 KgN/ha y saldos de nitrógeno mas altos para las dosis 92 y 115 KgN/ha. El bajo oeste lo hace en forma muy acotada, y exclusivamente con la dosis más elevada de fertilizante (gráficos 9 A, B, C, D).

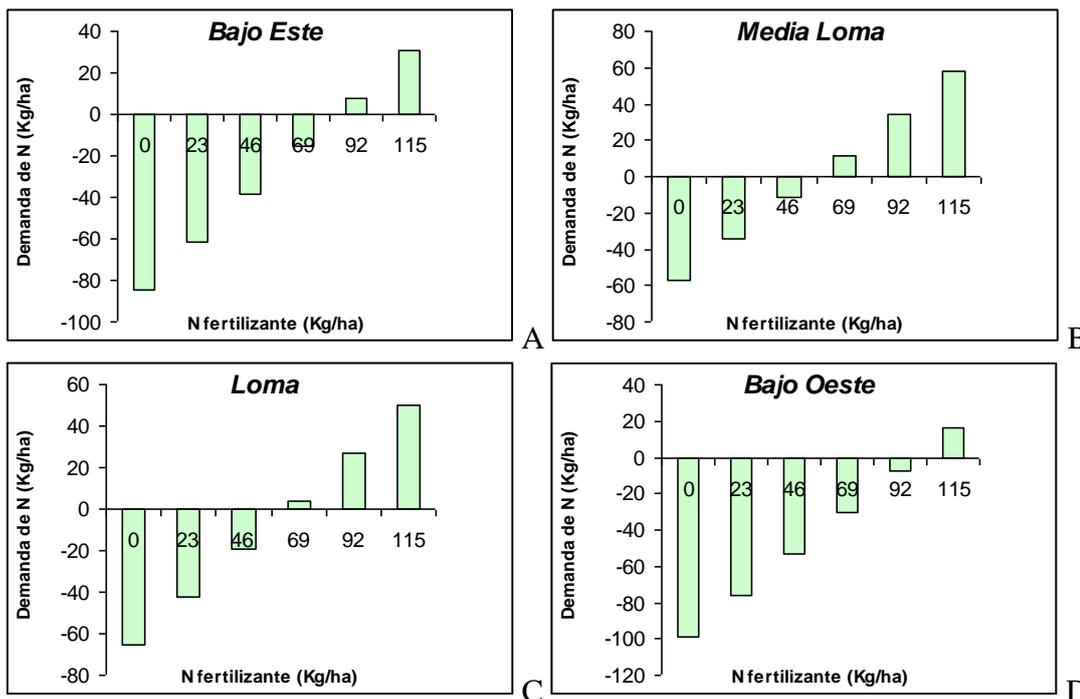


Gráfico 9. Resultado de la ecuación del Balance según rindes campaña 01/02.

DEMANDA DE NITRÓGENO SEGÚN REGRESIÓN LINEAL DE RENDIMIENTOS CAMPAÑA 2003/04

Si para la demanda de nitrógeno, se toman los rendimientos de maíz obtenidos de la ordenada al origen en la ecuación de regresión lineal de la variable independiente nitrógeno y la variable dependiente rendimiento, para bajo este, media loma, loma, y bajo oeste respectivamente, solo se satisface la dosis según el método del balance, con los tratamientos mas elevados de fertilización. En sitios como el bajo oeste, ni aun con la dosis más elevada de nitrógeno se llega a satisfacer la demanda según el método en cuestión (gráficos 10 A, B, C, D).

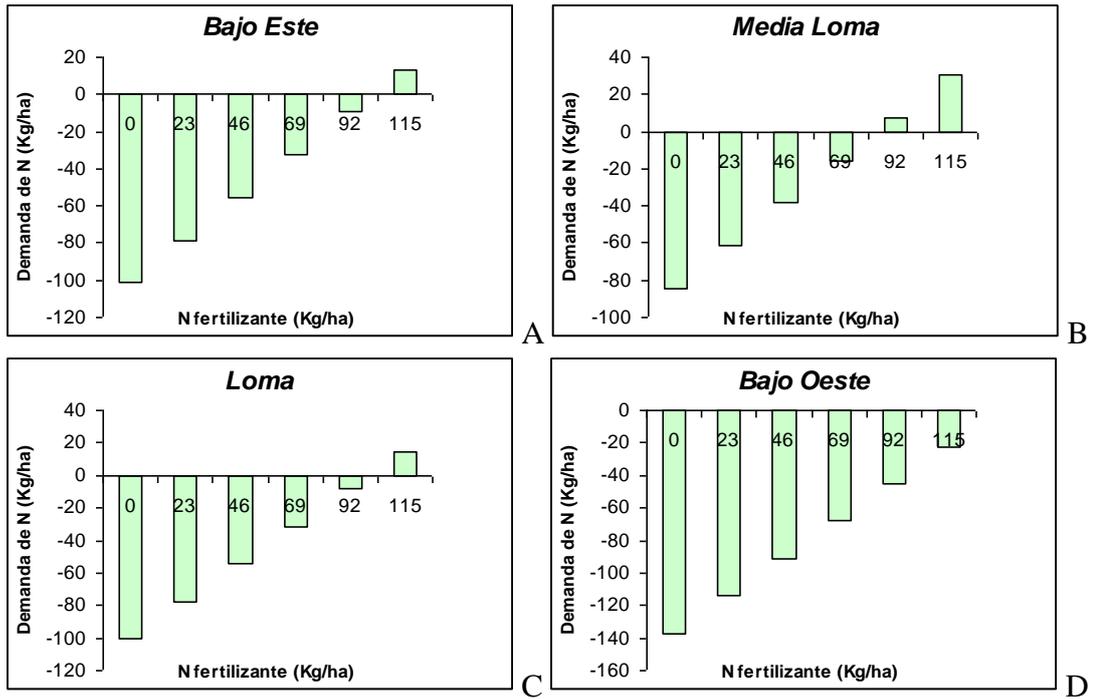


Gráfico 10. Resultado de la ecuación del Balance según regresión lineal campaña 03/04.

UTILIZACIÓN DE EFICIENCIAS EN EL USO DEL NITRÓGENO

Con los rendimientos de la campaña 2001/02, y con el uso de eficiencias de utilización del nitrógeno mineral del 80 %, nitrógeno inicial del 50 %, y nitrógeno del fertilizante del 80 %, sólo se esta próximo a la dosis que diagnostica el método en el sitio media loma y con 115 KgN/ha (gráficos 11 A, B, C, D).

El asumir una eficiencia de utilización del nitrógeno del fertilizante del 80 %, se atribuye a las condiciones de humedad del perfil tanto, a la siembra como en todo el ciclo del cultivo, favoreciendo la absorción de nitratos.

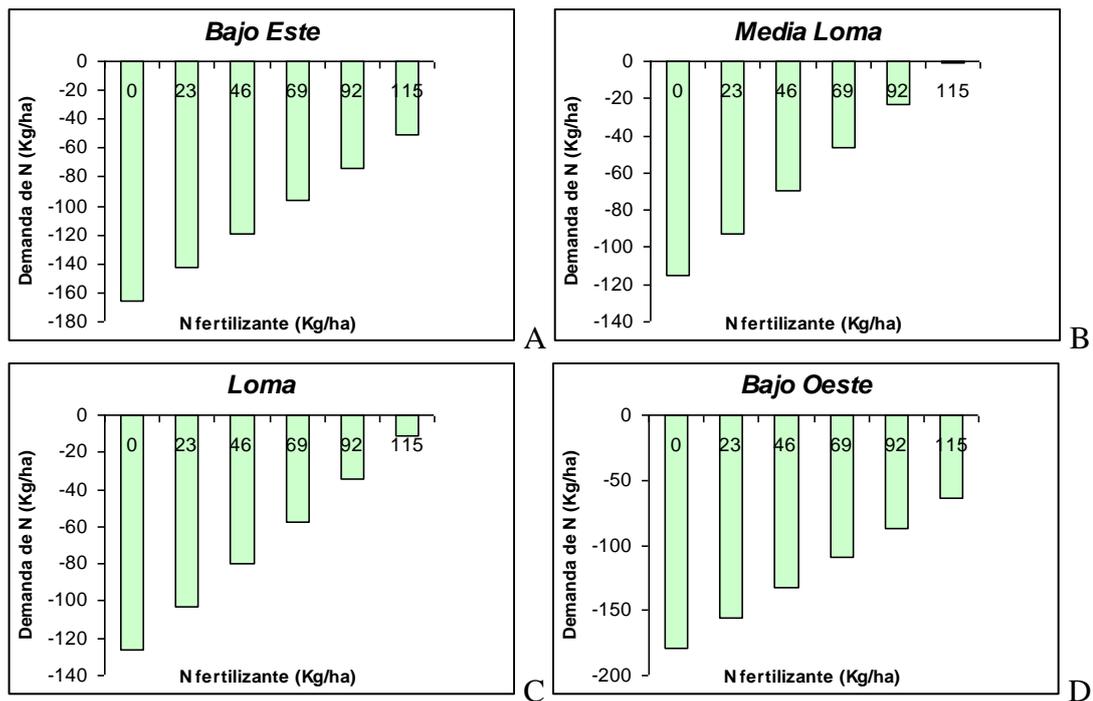


Gráfico 11. Resultado de la ecuación del Balance según eficiencias del uso del nitrógeno.

DISCUSIÓN GENERAL

El método del balance, se circunscribe al nitrógeno para el cual considera que la cantidad aplicada menos las pérdidas del sistema suelo-planta quedan disponibles para las plantas (Alvarez et al, 2000).

En el método, hay que determinar el requerimiento de nitrógeno del cultivo, el cual depende del rinde esperado y de considerar eficiencias que hacen a la dinámica del nitrógeno en el suelo. Establecer ese rinde del cultivo, es la base del sistema y depende de la información disponible de rendimientos de años anteriores y de las condiciones climáticas y culturales presentes (Alvarez et al, 2000)

Con rendimientos normales de maíz para el lote en cuestión, las cantidades de nitrógeno que satisfacen el diagnóstico por el método del balance son elevadas e inusuales tanto, en sitios de alto como de bajo potencial productivo. Si los rendimientos se elevan a lo ocurrido en la campaña en cuestión, o se consideran todas las eficiencias de utilización de las fracciones de nitrógeno, aun en menor medida se consigue satisfacer la ecuación del balance y más incoherente resultan las dosis para cada sitio.

EFICIENCIA DE FERTILIZACIÓN

La eficiencia de fertilización se calcula con la respuesta de los tratamientos según el rendimiento sin fertilización nitrogenada. Se obtiene la relación de la cantidad de grano de maíz obtenido por unidad de nitrógeno fertilizado en todos los tratamientos y las regresiones cuadráticas (o polinomiales) de cada sitio para este indicador de la rentabilidad en la fertilización.

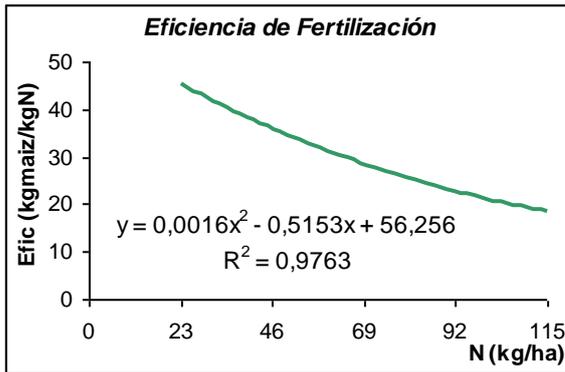


Gráfico 12. Bajo Este

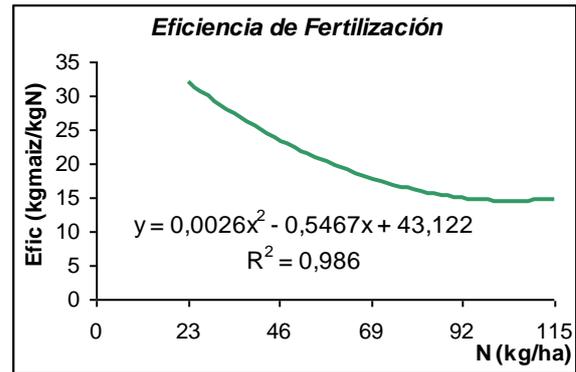


Gráfico 13. Media Loma

En el bajo este, la eficiencia de fertilización es inversa con respecto a la cantidad de nitrógeno y es mínima con la mayor dosis de nitrógeno. Además, hay un excelente ajuste de la ecuación ($R^2 = 0.97$). Aquí, se dan las mejores eficiencias en un rango de 45 Kg de maíz por Kg de nitrógeno, con 23 KgN/ha, hasta 17 Kg de maíz por Kg de nitrógeno a razón de 115 KgN/ha (gráfico 12).

La media loma, ajusta mas que adecuadamente ($R^2 = 0.98$) y su parábola positiva, parece encontrar su mínimo de eficiencia alrededor de los 100 Kg/ha de nitrógeno. El rango de eficiencias marcha desde 32 Kg de maíz por Kg de nitrógeno para dosis de 23, hasta 14 Kg de maíz por Kg de nitrógeno, para dosis de 115 KgN/ha (gráfico 13).

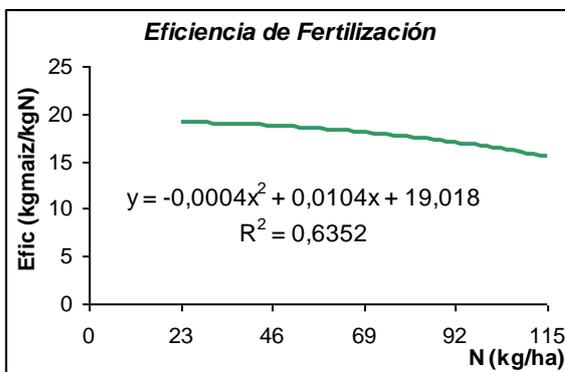


Gráfico 14. Loma

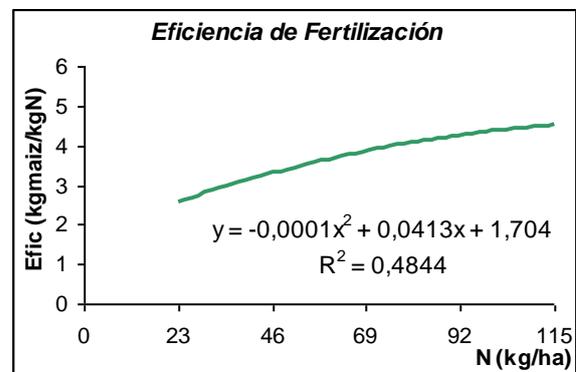


Gráfico 15. Bajo Oeste

Para la loma y bajo oeste los ajustes (R^2) son del 63 y 48 % respectivamente. Ambos sitios, poseen parábolas negativas.

La loma, de eficiencia inversa a la fertilización, presenta eficiencias entre los 19 y 14 Kg de maíz por Kg de nitrógeno a dosis creciente de nitrógeno (gráfico 14).

El sitio de menor eficiencia resulta ser el bajo oeste en donde, la relación entre eficiencia y fertilización es directa y no inversa como en los demás sitios. Las eficiencias son de 2 a 5 Kg de maíz por Kg de nitrógeno pero variables a dosis crecientes (gráfico 15).

Las parábolas obtenidas por las ecuaciones cuadráticas muestran que la eficiencia de fertilización en el bajo este se comporta como decreciente e inversa a la fertilización hasta la cantidad de 161 KgN/ha, en la cual se hace levemente creciente. En la media loma, ese punto se halla alrededor de los 115 KgN/ha (gráfico 16).

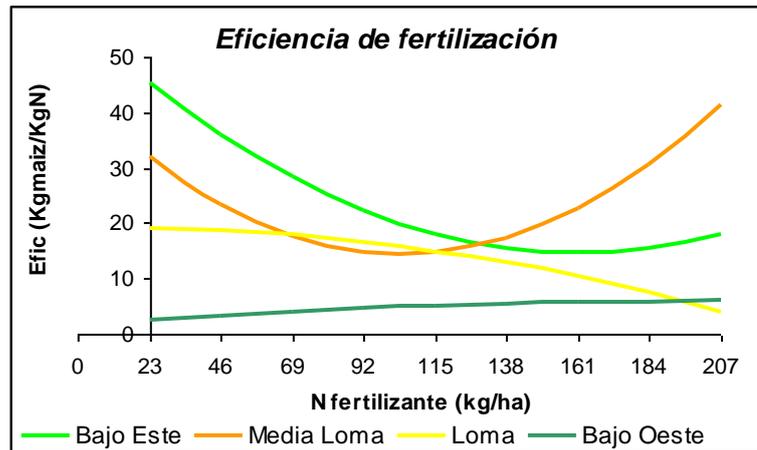


Gráfico 16. Eficiencia de fertilización por sitio

El bajo oeste, se comporta como la regresión lineal del rendimiento y crece a tasa decreciente. La loma decrece y parece alcanzar la mínima eficiencia alrededor de los 230 KgN/ha (gráfico 16).

Sitios de mayor potencial productivo como el bajo oeste confirman, con la eficiencia de fertilización, que son ambientes que requieren un muy buen criterio de fertilización a la siembra. Más que por la cantidad de nitrógeno, la decisión transitaría por el momento de aplicación.

Para los demás sitios, la influencia en el criterio de fertilización esta en tener presente que las mayores eficiencias se dan con las menores dosis. En este aspecto, los resultados también podrían deberse a cuestiones de momento y no de cantidad de fertilizante.

CONCLUSIONES

- ✓ La investigación de tipo científica requiere de mucho compromiso y resulta muy difícil establecer la culminación concluyente de la misma para solo una particular campaña.
- ✓ La tarea más importante, radica en discriminar lo relevante de lo irrelevante en el ámbito indagatorio. En este sentido, se destaca el gran ejercicio y desarrollo de la observación.

Por otro lado;

- ✓ El muestreo estratificado al azar es la herramienta fundamental a la hora de ratificar o encontrar diferencias entre sitios o ambientes. El rendimiento por si solo no basta ya que, está compuesto por una gran cantidad de factores que lo definen y modelan con resultados inconsistentes y propios de cada año en particular.
- ✓ La disponibilidad de nitrógeno en el suelo, es poco confiable a la hora de definir la variabilidad de diversos ambientes frente a lo que logra el nivel de fósforo o el de materia orgánica.
- ✓ El ajuste de dosis de nitrógeno en maíz debe encontrar resultados promedios de considerables años de ensayos para que sean transferibles a la aleatoriedad del clima, permitiendo obtener los mayores rendimientos de maíz con la máxima eficiencia del nutriente fertilizado.
- ✓ El diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz debe ampliarse a replanteos de la tecnología de aplicación utilizada ya sea, forma y momento, sumado a los alcances de la maquinaria disponible y, a la capacidad operativa de cada productor de maíz en particular.
- ✓ El modelo de diagnóstico de fertilización nitrogenada como el método del balance es estimativo, inestable ante un mínimo cambio y, muy exigente, demandando dosis de nitrógeno que a la siembra son incoherentes tanto, para con todos los productores de maíz de la región, como para con la eficiencia de fertilización y por ende con la sensible rentabilidad del cultivo.
- ✓ La metodología de testigos apareados detecta variabilidad a lo ancho del ensayo pero, es de difícil interpretación a la hora de decidir la mejor dosis por sitio.

APENDICE

Anexo 1

DATOS ANALÍTICOS - AGOSTO DEL 2003.

MUESTREO ESTRATIFICADO CON PUNTOS PREESTABLECIDOS.

Sitio/punto (p)	Ubicación geográfica	Profundidad	% MO	P ppm	N-NO ₃ ⁻ ppm	% H ^o
Loma Este p1	32°58'54.272" S 64°71'15.448" O	0 – 20 cm	1.01	18.1 (16.8)	7.87	9.33
		20 – 40 cm	0.8	5.4	6.47	11.49
Loma Este p2	32°58'51.763" S 64°71'14.050" O	0 – 20 cm	0.98	8.2	9.13	8.71
		20 – 40 cm	0.63	4.1	5.98	10.82
Loma Este p3	32°58'46.475" S 64°71'13.803" O	0 – 20 cm	1.01	9.8	6.86	7.22
		20 – 40 cm	0.76	6.7	4.82	9.54
Loma Oeste p23	32°58'28.442" S 64°71'29.931" O	0 – 20 cm	1.17	15	3.91	8.65
		20 – 40 cm	0.95	5.0	5.12	11.35
Loma Oeste p24	32°58'31.493" S 64°71'28.532" O	0 – 20 cm	1.08	19.5 (18.1)	6.29	8.42
		20 – 40 cm	0.82	4.5	6.2	10.65
Loma Oeste p25	32°58'35.357" S 64°71'30.425" O	0 – 20 cm	1.07	12.0	9.1	8.3
		20 – 40 cm	0.8	4.1	3.34	11.43
Loma p14	32°58'33.323" S 64°71'23.348" O	0 – 20 cm	1.09	6.6	6.88	11.02
		20 – 40 cm	1.03	3.2	3.15	12.44
Loma p15	32°58'36.849" S 64°71'23.266" O	0 – 20 cm	0.9	9.5	7.19	9.01
		20 – 40 cm	0.87	3.0	4.9	11.37
Loma p16	32°58'41.120" S 64°71'25.076" O	0 – 20 cm	1.19	10.0	6.07	8.33
		20 – 40 cm	1.03	5.5	4.89	11.21
Loma p17	32°58'45.052" S 64°71'23.764" O	0 – 20 cm	1.16	23.1 (21.5)	7.92	10.07
		20 – 40 cm	0.87	10.4	4.5	12.61
Loma p18	32°58'47.086" S 64°71'29.766" O	0 – 20 cm	1.07	10.4	8.02	8.43
		20 – 40 cm	0.82	5.5	4.65	10.7
Bajo Este p4	32°58'43.222" S 64°71'13.967" O	0 – 20 cm	2.08	18.0	12.23	13.22
		20 – 40 cm	1.71	16.3	8.78	15.57
Bajo Este p5	32°58'46.543" S 64°71'16.354" O	0 – 20 cm	1.91	9.7	10.94	13.95
		20 – 40 cm	1.59	6.3	9.04	15.88
Bajo Este p6	32°58'49.120" S 64°71'15.695" O	0 – 20 cm	2.23	19.8	7.51	13.73
		20 – 40 cm	1.79	12.4	6.87	14.47
Bajo Este p7	32°58'51.967" S 64°71'17.999" O	0 – 20 cm	2.17	19.0	7.27	13.58
		20 – 40 cm	1.98	14.2	8.77	15.38
Bajo Oeste p19	32°58'39.900" S 64°71'29.272" O	0 – 20 cm	1.8	18.0	13.31	12.83
		20 – 40 cm	1.58	7.3	5.68	13.66
Bajo Oeste p20	32°58'36.578" S 64°71'27.058" O	0 – 20 cm	1.95	22.0	7.5	10.28
		20 – 40 cm	1.61	11.0	8.15	13.16
Bajo Oeste p21	32°58'33.391" S 64°71'28.038" O	0 – 20 cm	1.45	16.5	7.36	11.59
		20 – 40 cm	1.33	9.5	6.34	13.14
Bajo Oeste p22	32°58'31.832" S 64°71'24.747" O	0 – 20 cm	1.83	14.0	8.32	12.41
		20 – 40 cm	1.71	9.5	5.91	13.73
½ Loma p8	32°58'51.153" S 64°71'21.044" O	0 – 20 cm	0.89	5.8	6.67	7.53
		20 – 40 cm	0.77	3.1	6.2	10.74
½ Loma p9	32°58'46.340" S 64°71'21.867" O	0 – 20 cm	1.02	12.8 (12.2)	7.18	8.84
		20 – 40 cm	0.83	4.9	4.65	10.82
½ Loma p10	32°58'43.018" S 64°71'19.234" O	0 – 20 cm	0.84	6.0	9.75	8.33
		20 – 40 cm	0.52	4.0	5.31	10.67
½ Loma p11	32°58'39.764" S 64°71'15.777" O	0 – 20 cm	0.8	6.0	6.17	10.1
		20 – 40 cm	0.71	4.5	6.74	12.39
½ Loma p12	32°58'36.781" S 64°71'18.411" O	0 – 20 cm	0.83	7.6	5.63	8.2
		20 – 40 cm	0.71	4.2	4.43	10.74
½ Loma p13	32°58'33.933" S 64°71'20.386" O	0 – 20 cm	0.84	5.5	7.43	9.21
		20 – 40 cm	0.65	2.9	5.57	11.37

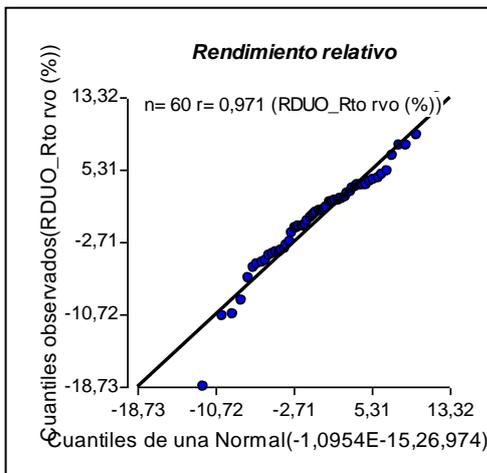
SUPUESTOS DEL ANOVA

1. Supuesto de aditividad (se cumple).
2. Supuesto de normalidad.

Cuadro 11. Prueba de normalidad Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
RDUO Rendimiento relativo (%)	60	0,00	5,19	0,97	0,4725

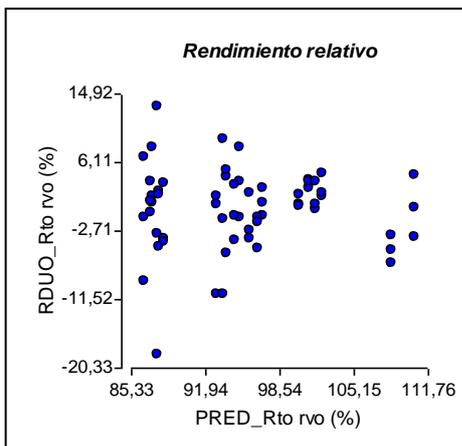
Una de las pruebas de normalidad es la de Shapiro-Wilks, donde la H_0 confiere la distribución normal de los errores y la H_a supone que los errores no poseen distribución normal. Se trabaja con un alfa de 0,05 y se acepta la hipótesis nula (H_0) concluyendo en una distribución normal de los errores (cuadro 11).



El error experimental que existe entre parcelas que recibieron el mismo tratamiento en los distintos bloques poseen distribución normal con media 0 y desvío e.

El gráfico 5 muestra un ajuste de la recta del 97,1 % sobre los valores transformados de rendimiento relativo, confirmando la distribución normal de los mismos.

Gráfico 5. Prueba de normalidad – Q-Q plot



3. Supuesto de homogeneidad de varianza.

Este supuesto se refiere a que la varianza de los errores debe ser homogénea.

En el gráfico 6 se puede ver que en la franja existente entre los valores residuales de 6,11 y -2,71 se acumulan la mayor parte de datos obtenidos. Así mismo, hay una aceptable dispersión de los datos.

Gráfico 6. Diagrama de dispersión.

La H_0 del supuesto en la prueba de Levene, admite la homogeneidad de los errores y, trabajando con un alfa de 0,05, nos encontramos en la zona de aceptación concluyendo que se cumplen todos los supuestos del Análisis de Varianza para el ensayo en cuestión (cuadro 12).

Cuadro 12. Prueba de Levene ANOVA (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	125,64	7	17,95	1,57	0,1654
Nitro (Kg/ha)	41,09	4	10,27	0,90	0,4718
Ambiente	84,55	3	28,18	2,46	0,0726
Error	594,63	52	11,44		
Total	720,27	59			

Anexo 3

GRADOS DE LIBERTAD Y P-VALOR DE TODOS LOS DATOS

Cuadro 8. Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2840,08	7	405,73	13,26	<0,0001
Nitrógeno (Kg/ha)	1828,07	4	457,02	14,93	<0,0001
Ambiente o sitio	1012,01	3	337,34	11,02	<0,0001
Error	1591,47	52	30,61		
Total	4431,55	59			

GRADOS DE LIBERTAD Y P-VALOR POR SITIO O AMBIENTE

Cuadro 14. Bajo Este - Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	762,67	4	190,67	2,48	0,1115
Nitrógeno (Kg/ha)	762,67	4	190,67	2,48	0,1115
Error	769,53	10	76,95		
Total	1532,20	14			

Cuadro 18. Media Loma - Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	554,95	4	138,74	4,93	0,0187
Nitrógeno (Kg/ha)	554,95	4	138,74	4,93	0,0187
Error	281,60	10	28,16		
Total	836,55	14			

Cuadro 22. Loma - Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	643,72	4	160,93	22,54	0,0001
Nitrógeno (kg/ha)	643,72	4	160,93	22,54	0,0001
Error	71,38	10	7,14		
Total	715,10	14			

Cuadro 26. Bajo Oeste - Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	191,28	4	47,82	3,31	0,0567
Nitrógeno (kg/ha)	191,28	4	47,82	3,31	0,0567
Error	144,40	10	14,44		
Total	335,68	14			

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ R., ALVAREZ C. R., y H. S. STEINBACH. 2000. Fertilización de Trigo y Maíz. Editorial hemisferio sur.
- ANSELIN, L., BONGIOVANNI, R., AND J. LOWENBERG-DEBOER. 2003. "A Spatial Econometric Approach to the Economics of Site-Specific Nitrogen Management in Corn Production." American Journal of Agricultural Economics (AJAE). En: <http://agec221.agecon.uiuc.edu/users/anselin/papers.html> Consultado: 04-05-2004.
- BAUMER R. 1996. Fertilización y sistemas de laboreo e implantación. Tercer seminario de actualización técnica. Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras. Buenos Aires. CPIA-SRA.
- BLAKE, G. R. y K. H. HARTGE 1986. Methods of soils analysis – Part 1 *In* Bulk Density. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Editor-in-chief A. Klute. Number 1 in the series agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Wisconsin USA Pág. 363-375
- BONGIOVANNI, R. 2003. La Agricultura de Precisión en la Cosecha. Trabajo preparado para la Revista IDIA del INTA, Diciembre 2003. Proyecto Agricultura de Precisión – INTA Manfredi Manfredi, Argentina
- BRAGACHINI, M.; R. BONGIOVANI y E. MARTELLOTTO. 1996. Manejo localizado de los Nutrientes del Cultivo. Agricultura de Precisión. INTA, Est. Exp. Agrop. Manfredi, Proyecto IPG.
- BRAGACHINI, M.; R. BONGIOVANI, A. von MARTINI y A. MÉNDEZ. 2002. Proyecto Agricultura de Precisión INTA. Expochacra 2002. SAGPyA, INTA, Est. Exp. Agrop. Manfredi, Proyecto de Agricultura de Precisión.
- BRAGACHINI, M.; A. von MARTINI y A. MÉNDEZ. 2003 a. Agricultura de Precisión Siembra Variable con Geoposicionamiento Satelital. En: <http://www.agriculturadeprecisión.org/artículos/SiembraVariable-GeoposicionamientoSatelital.htm>. Proyecto Agricultura de Precisión INTA EEA Manfredi. Consultado: 09-12-2003.
- BRAGACHINI, M.; A. von MARTINI, A. MÉNDEZ y J. MONCHAMP. 2003 b. Agricultura de Precisión Manejo Sitio Específico de Cultivos. En: <http://www.agriculturadeprecisión.org/artículos/ManejoSitioEspecíficodeCultivos.htm>. Proyecto Agricultura de Precisión INTA EEA Manfredi. Consultado: 09-12-2003.
- BRAGACHINI, M., BONGIOVANNI, R., PEIRETTI, J., SCARAMUZZA, F., MÉNDEZ, A., CASINI, C., RODRÍGUEZ, J., y R. BARTOSIK. 2003. Trigo. Eficiencia de cosecha y postcosecha. Manual técnico No. 1. INTA Manfredi.

- CAMOZZI, M. E. y R. MELGAR. Septiembre de 2000. Maíz: ¿Cuánto Ponerle? Revista Fertilizar Ejemplar número 20 Pág. 13-15
- DÍAZ-ZORITA, M. y R. MELGAR. 1997. La fertilización de cultivos y pasturas. 1^{ra} edición. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina.
- DUCHAUFOR, P. 1975. Manual de Edafología. Editorial Toray Masson. Barcelona, España.
- GARCÍA F. y K. FABRIZZI 1998. Fertilización de trigo y maíz bajo siembra directa en el SE de Buenos Aires. Boletín técnico n°150. INTA E.E.A. Balcarce.
- GARCÍA, F.O. 2002. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Aproximaciones Zonales. INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur. Curso de Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Martes 1 y miércoles 2 de julio de 2003. Lugar AIASC. AIASC-ASP.
- HATFIELD, J. 2000. Precision Agriculture and Environmental Quality: Challenges for Research and Education. National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, USDA, Ames, Iowa. En: <http://www.arborday.org>
- INFOSTAT 2001. Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba. Estadística y Diseño - F.C.A. Manual de usuario. Versión 1.1 profesional.
- INTA MANFREDI, 2003. Recursos Naturales de la provincia de Córdoba. Los Suelos. Nivel de reconocimiento = escala 1:500000. Agencia Córdoba D.A.C.yT.S.E.M. Dirección de ambiente. BR Copias, Nueva Córdoba, Córdoba, Argentina.
- KEENEY, D.R. y D.W. NELSON 1982. Nitrogen – Inorganic forms. *In* Methods of soil analysis – Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Ed: Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney SSSA. Wisconsin USA. Pp 643-693
- KLUTE, A. 1986. Methods of soils analysis – Part 1 *In* Water Retention. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Editor-in-chief A. Klute. Number 1 in the series agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Wisconsin USA pp 635-660
- MEISINGER, J.J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil crops system. *In* R.D. Hauck (ed) Nitrogen in Crop Production. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin USA
- MELCHIORI R.J.M. y O.F. PAPANOTTI. 1996. Fertilización nitrogenada en maíz: Uso del método del balance. *En* Producción intensiva de maíz. Serie de extensión n° 11. INTA E.E.A. Paraná.
- NELSON, D.W. y L.E. SOMMERS 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *In* Methods of soil analysis – Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Ed: Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney SSSA. Wisconsin USA. Pp 539-594
- O'DONNELL, A y A. von MARTINI. 2001. Agricultura de Precisión y manejo del cultivo de Soja. Soja 2001. ASP, INTA Marco Juárez, Bocco & Fazzano consultora. Espinillo, Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

- OLSEN, S.R. y L.E. SOMMERS. 1982. Phosphorus *In* Methods of soil analysis – Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Ed: Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney SSSA. Wisconsin USA. Pp 403-446
- RICE C. y M SMITH. 1982. Denitrification in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:295-297.
- ROBERTS, T. L. 2003. Manejo Sitio Especifico de Nutrientes – Avances en Aplicaciones con Dosis Variable. Traducción al castellano: Ing. Agr. Axel von Martini. En: <http://www.agriculturadeprecisión.org/artículos/ManejoSitioEspecíficodeNutrientes–AvancesenAplicacionesonDosisVariable.htm>. Proyecto Agricultura de Precisión INTA EEA Manfredi. Consultado: 09-12-2003.
- SALVAGIOTTI, F, H. M. PEDROL y J. M. CASTELLARIN. 1999. Utilización del método del balance de nitrógeno para la recomendación de la fertilización nitrogenada en maíz. EEA INTA Santa Fe, Argentina. En: <http://www.fertilizar.org/articulosagronomicos/nitrogeno/maiz>
- SCHEPERS, J.S. and MEISINGER, J.J. 1994. Field indicators of nitrogen mineralization. *In* J. Havlin y J. Jacobsen (ed.). *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA Spec. Pub. No. 40. SSSA-ASA. Madison, Wisconsin USA.
- THOMAS, D.R. y J.J. HALVORSON. 1996. Standardized Methods, Sampling, and Sample Pretreatment. En: Doran W.D. y A.J. Jones (Ed.). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA U.S.A. pp 111-121.
- TISDALE, S. M.; WERNER, L. N.; BEATON, J. D. y J. L. HAULIN. 1996. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5 th ed. Macmillan Publishing Company. New York USA